



**TUGAS AKHIR – MO.141326**

**KAJIAN PERFORMA DAN OPERABILITAS  
TANDEM *OFFLOADING* DENGAN VARIASI  
SISTEM TAMBAT PADA FPSO JENIS SSP**

**Jousie Rebecca Thalita**  
**NRP. 43131 100 150**

**Dosen Pembimbing**  
**Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.**  
**Murdjito M.Sc., Eng.**

**Jurusan Teknik Kelautan**  
**Fakultas Teknologi Kelautan**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya**  
**2017**



**FINAL PROJECT – MO.141326**

**The Study of Tandem *Offloading* Performance and Operability on The Cylindrical Hull FPSO Sevan Stabilized Platform with Mooring System Configuration**

**Jousie Rebecca Thalita**  
**NRP. 4313 100 150**

**Supervisors:**

**Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.**  
**Murdjito M.Sc., Eng.**

**OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT**  
**Faculty of Marine Technology**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya**  
**2017**

**Kajian Performa dan Operabilitas Tandem *Offloading* dengan Variasi  
Sistem Tambat pada FPSO Jenis SSP**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**Jousie Rebecca Thalita**

**NRP. 4313 100 150**

Disetujui oleh:

1. Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D (Pembimbing 1)

2. Murdjito M.Sc., Eng (Pembimbing 2)

3. Dr. Eng Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T. (Penguji)

4. Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D. (Penguji)

5. Ir. Mas Murtedjo, M.Eng. (Penguji)

Surabaya, Juli 2017

## KAJIAN PERFORMA DAN OPERABILITAS TANDEM *OFFLOADING* DENGAN VARIASI SISTEM TAMBAT PADA FPSO JENIS SSP

**Nama** : Jousie Rebecca Thalita

**NRP** : 4313100150

**Dosen Pembimbing** : Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M. Sc., Ph. D.  
Murdjito M.Sc., Eng.

### ABSTRAK

Seiring berjalannya waktu, pengembangan teknologi eksplorasi dan eksploitasi minyak bumi di perairan dalam wilayah lepas pantai atau *offshore* semakin digencarkan. Saat ini, FPSO berlambung silinder atau lebih dikenal dengan *Sevan Stabilized Platform*, (SSP) banyak digunakan sebagai sarana pengeboran minyak di perairan laut dalam. Konsep FPSO berbadan silinder ini dianggap sebagai konsep baru yang menjanjikan dan akan sangat efektif digunakan di perairan laut dalam karena kapasitas penyimpanan dan *offloading* yang besar akan meniadakan pemakaian pipa sebagai sarana *offloading*. Dalam penelitian ini, akan dilakukan analisa terhadap respon gerak struktur SSP dan *Shuttle Tanker* pada saat operasi tandem *offloading* dan *tension* pada tali tambat yang digunakan, serta analisis nilai operabilitas SSP. Analisis operabilitas diasumsikan hanya dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dengan memvariasi tinggi gelombang signifikan sesuai dengan data sebaran gelombang, dan juga dengan memvariasikan sistem tambat yang digunakan yaitu *Catenary* dan *Taut*. Adapun arah pembebanan lingkungan pada struktur divariasikan yang terdiri dari 90°, 210°, dan 330°. Berdasarkan penelitian, dapat diketahui bahwa struktur yang memiliki konfigurasi sistem tambat *Catenary* memiliki repon gerak yang lebih besar dan *tension* tali tambat yang lebih kecil dibandingkan struktur yang memiliki konfigurasi sistem tambat *Taut*. Pada kondisi tertambat *stand alone*, SSP mampu beroperasi hingga tinggi gelombang signifikan 4.5 m untuk konfigurasi baik *Catenary* maupun *Taut* dengan rentang nilai *tension* 1200 kN hingga 2200 kN untuk konfigurasi *Catenary*, dan 4700 kN hingga 7500 kN pada konfigurasi *Taut*. Sedangkan operasi tandem *offloading* dengan *Shuttle Tanker* hanya dapat dilakukan hingga tinggi gelombang signifikan 2.5 m untuk kedua konfigurasi sistem tambat. Nilai operabilitas FPSO jenis SSP dalam pengoperasiannya di perairan Blok Masela adalah sebesar 73.3%.

**Kata Kunci** : *Sevan Stabilized Platform*, *tandem offloading*, respon gerak, *tension*, operabilitas, *Catenary*, *Taut*



# **The Study of Tandem *Offloading* Performance and Operability on The Cylindrical Hull FPSO Sevan Stabilized Platform with Mooring System Configuration**

**Name** : Jousie Rebecca Thalita

**NRP** : 4313100150

**Supervisors** : Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M. Sc., Ph. D.

Murdjito M.Sc., Eng.

## **ABSTRACT**

As the time pass by, the development of offshore exploration and exploitation technology is also advancing. Right now, the cylindrical FPSO or also well known as Sevan Stabilized Platform (SSP) is commonly used as a new concept in offshore technology to ensure profitability in deep water and ultra deep water fields. It is also considered as a lower-cost option for large, deep water projects compared with other conventional FPSO. Its cylindrical hull is also considered as a new promising and effective concept for deep water because of the huge capacity of storage and *offloading* capability that can reduce the necessity of pipeline uses. This research has been carried out by analyzing the motion of the SSP and the *Shuttle Tanker* on the process of tandem *offloading* and also the *tension* of the *mooring lines* under the environmental excitations such as wind load, current load, and wave load. Further, observation of using diferent type of mooring system namely *Catenary* and *Taut* mooring system. Based on the analysis, it can be concluded that the structure uses *Catenary* mooring system has higher motion but with less *tension* compared to the structure that use the *Taut* mooring system. On the *Stand Alone* condition, SSP can safely operate until the significant height of 4.5 m for both type of mooring system, with the range of *tension of* 1200 kN – 2000 kN for *Catenary* configuration, and 4700 kN – 7500 kN for *Taut* configuration. From this research it can also be concluded that the tandem *offloading* operation with *Shuttle Tanker* can safely be done below the significant height of 2.5 m for both mooring configurations. The operability of SSP in the operation in the Blok Masela is 73.3%.

**Keyword** : Sevan Stabilized Plarform, tandem *offloading*, motion, *tension*, operability, *Catenary*, *Taut*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus karena atas berkat dan rahmatnyalah penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik dan tepat waktu.

Adapun Tugas akhir yang berjudul “Kajian Performa dan Operabilitas Tandem *Offloading* dengan Variasi Sistem Tambat pada FPSO Jenis SSP” ini membahas tentang operabilitas FPSO Jenis SSP pada saat melakukan aktivitas *offloading* hidrokarbon secara tandem dengan *Shuttle Tanker* dalam pengoperasiannya di perairan Masela. Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis berterima kasih kepada pihak-pihak yang terlibat dalam pembuatan Tugas Akhir ini, secara khusus kepada Prof Ir. Eko Budi Djatmiko M.Sc., Ph.D., dan Murdjito M.Sc., Eng., selaku dosen pembimbing yang telah membimbing secara penuh penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari secara penuh bahwa laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu diharapkan saran dan kritik yang kiranya dapat menyempurnakan Tugas Akhir ini. Akhir kata, penulis berharap laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan juga perkembangan ilmu teknologi di bidang kelautan.

Surabaya, 11 Juli 2016

Penulis

## UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah terlibat dan membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Penulis ingin berterima kasih kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus, karna penyertaanNya yang telah menguatkan penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini
2. Orangtua dan kakak-kakak serta adik penulis, Bapak Eddy Fritz Sinaga, Ibu Jaqualine Maramis, Jeanette, Andreas, Johannes, dan Joshua Toar yang telah memberikan dukungan penuh kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Prof Ir. Eko Budi Djatmiko M.Sc., Ph.D., selaku dosen pembimbing pertama, dan Murdjito M.Sc., Eng., selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikun bimbingan dan ilmu serta wawasan yang sangat berguna bagi penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini
4. Muhammad Aulia Aldi, Maria Puteri Rosari, dan Sandy Ramadhan yang juga memberikan bimbingan dan masukkan kepada penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir ini
5. Keluarga besar Laboratorium Komputer
6. Angkatan VALTAMERI, yang telah memberikan dukungan kepada penulis
7. Sahabat-sahabat penulis, Indri Alifiani, Kalila Ziva, Febry Nur Intan, Patria Rahmadani, Queen Anggun, Anne Marry, Boniefasia, dan Dwi Cahya, yang karena kehadiran mereka penulis sanggup menyelesaikan cobaan dalam menyelesaikan Tugs Akhir ini

Serta semua pihak yang terlibat namun tidak dapat penulis sebutkan satu persatu pada kesempatan ini. Kiranya Tuhan membalas semua kebaikan yang telah mereka berikan.

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>vi</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 LATAR BELAKANG.....	1
1.2 RUMUSAN MASALAH.....	4
1.3 TUJUAN PENELITIAN.....	4
1.4 MANFAAT PENELITIAN.....	4
1.5 BATASAN MASALAH .....	4
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN.....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI .....</b>	<b>7</b>
2.1 TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.2 DASAR TEORI .....	8
2.2.1 <i>Sevan Stabilized Platform</i> .....	8
2.2.2 <i>Offloading Tandem dan Side by side</i> .....	9
2.2.3 Teori Gerak Bangunan Apung.....	10
2.2.4 Respon Struktur pada Gelombang Reguler.....	11
2.2.5 Respon Struktur pada Gelombang Acak ( <i>Irregular</i> ) .....	12
2.2.6 Beban Angin dan Beban Arus.....	15
2.2.7 Sistem Tambat.....	16
2.2.8 Penentuan Panjang Tali Tambat ( <i>mooring line</i> ).....	17
2.2.9 Tegangan pada Tali Tambat .....	18
2.2.10 Tali Tambat Antar Kapal .....	19
2.2.11 Operabilitas .....	19

<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>21</b>
3.1 LANGKAH KERJA.....	21
3.2 PENGUMPULAN DATA .....	24
3.2.1 Data Sevan S400 .....	24
3.2.2 Data <i>Shuttle Tanker</i> .....	25
3.2.3 Data <i>Mooring Line Properties</i> pada Sevan S400 .....	26
3.2.4 Data Tali Tambat Kapal .....	26
3.2.5 Data Lingkungan.....	27
3.3 SKENARIO PENELITIAN .....	27
<b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>29</b>
4.1 STRUKTUR DAN VALIDASI.....	29
4.1.1 Pemodelan dan Validasi Struktur SSP .....	29
4.1.2 Pemodelan dan Validasi Struktur <i>Shuttle Tanker</i> .....	30
4.2 KARAKTERISTIK GERAK STRUKTUR PADA KONDISI TERAPUNG BEBAS .....	32
4.2.1 Karakteristik Gerak Struktur SSP pada Kondisi Terapung Bebas	33
4.2.2 Karakteristik Gerak Struktur <i>Shuttle Tanker</i> pada Kondisi Terapung Bebas .....	40
4.3 SKENARIO PENELITIAN .....	51
4.4 PERMODELAN PADA ORCAFLEX.....	53
4.5 KARAKTERISTIK GERAK STRUKTUR DAN <i>TENSION MOORING LINE</i> PADA KONDISI <i>STAND ALONE</i> .....	56
4.5.1 Analisa Respon Gerak SSP pada saat <i>Stand Alone</i> kondisi 1 (SSP bermuatan <i>Full Load</i> dengan konfigurasi <i>Catenary</i> ).....	56
4.5.2 Analisa Respon Gerak SSP pada saat <i>Stand Alone</i> kondisi 2 (SSP bermuatan <i>ballast</i> dengan konfigurasi <i>Catenary</i> ).....	60
4.5.3 Analisa Respon Gerak SSP pada saat <i>Stand Alone</i> Kondisi 3 (SSP bermuatan <i>Full Load</i> dengan konfigurasi <i>Taut</i> ).....	64
4.5.4 Analisa Respon Gerak SSP pada saat <i>Stand Alone</i> Kondisi 4 (SSP bermuatan <i>Ballast load</i> dengan konfigurasi <i>Taut</i> ) .....	68



4.5.5	<i>Tension Mooring Line</i> pada SSP Kondisi 1 .....	71
4.5.6	<i>Tension Mooring Line</i> pada SSP Kondisi 2 .....	74
4.5.7	<i>Tension Mooring Line</i> pada SSP Kondisi 3 .....	77
4.5.8	<i>Tension Mooring Line</i> pada SSP Kondisi 4 .....	79
4.6	KARAKTERISTIK GERAK STRUKTUR DAN <i>TENSION MOORING LINE</i> PADA <i>OFFLOADING</i> TANDEM .....	82
4.6.1	Respon Gerak Struktur pada saat <i>Offloading</i> Kondisi 1.....	87
4.6.2	Respon Gerak Struktur pada saat <i>Offloading</i> Kondisi 2.....	91
4.6.3	Respon Gerak Struktur pada saat <i>Offloading</i> Kondisi 3.....	95
4.6.4	Respon Gerak Struktur pada saat <i>Offloading</i> Kondisi 4.....	99
4.6.5	Respon Gerak Stuktur pada saat <i>Offloading</i> Kondisi 5.....	102
4.6.6	Respon Gerak Stuktur pada saat <i>Offloading</i> kondisi 6.....	106
4.6.7	Analisa Kondisi Kritis Berdasarkan Respon Gerak.....	110
4.6.8	<i>Tension Mooring Line</i> Kondisi 1 .....	115
4.6.9	<i>Tension Mooring Line</i> Kondisi 2 .....	117
4.6.10	<i>Tension Mooring Line</i> Kondisi 3.....	119
4.6.11	<i>Tension Mooring Line</i> Kondisi 4.....	121
4.6.12	<i>Tension Mooring Line</i> Kondisi 5.....	122
4.6.13	<i>Tension Mooring Line</i> Kondisi 6.....	124
4.7	OPERABILITAS.....	126
4.7.1	Pengecekan <i>mooring line</i> Berdasarkan <i>Safety Factor</i> .....	126
4.7.2	Pengecekan <i>Hawser</i> Berdasarkan <i>Safety Factor</i> .....	129
<b>BAB V PENUTUP .....</b>		<b>141</b>
5.1	SIMPULAN.....	141
5.2	SARAN.....	142
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>143</b>
<b>LAMPIRAN</b>		
<b>BIODATA PENULIS</b>		

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Ilustrasi Pemodelan SSP S400 (sumber: <i>Sevan Marine</i> ) .....	2
Gambar 2.3 Panjang minimum <i>mooring line</i> (Faltinsen, 1990).....	18
Gambar 4.5 Keterangan arah propagasi gelombang dan gerak struktur .....	32
Gambar 4.6 RAO <i>surge</i> pada SSP kondisi <i>Full Load</i> .....	34
Gambar 4.7 RAO <i>sway</i> pada SSP kondisi <i>Full Load</i> .....	34
Gambar 4.8 RAO <i>heave</i> pada SSP kondisi <i>Full Load</i> .....	35
Gambar 4.9 RAO <i>roll</i> pada SSP kondisi <i>Full Load</i> .....	35
Gambar 4.10 RAO <i>pitch</i> pada SSP kondisi <i>Full Load</i> .....	36
Gambar 4.11 RAO <i>yaw</i> pada SSP kondisi <i>Full Load</i> .....	36
Gambar 4.14 RAO <i>heave</i> pada SSP kondisi <i>ballast</i> .....	38
Gambar 4.15 RAO <i>roll</i> pada SSP kondisi <i>ballast</i> .....	38
Gambar 4.16 RAO <i>pitch</i> pada SSP kondisi <i>ballast load</i> .....	39
Gambar 4.17 RAO <i>yaw</i> pada SSP kondisi <i>ballast load</i> .....	39
Gambar 4.18 RAO <i>surge</i> pada <i>Shuttle Tanker</i> kondisi <i>Full Load</i> .....	40
Gambar 4.19 RAO <i>sway</i> pada <i>Shuttle Tanker</i> kondisi <i>Full Load</i> .....	41
Gambar 4.20 RAO <i>heave</i> pada <i>Shuttle Tanker</i> kondisi <i>Full Load</i> .....	42
Gambar 4.21 RAO <i>roll</i> pada <i>Shuttle Tanker</i> kondisi <i>Full Load</i> .....	42
Gambar 4.22 RAO <i>pitch</i> pada <i>Shuttle Tanker</i> kondisi <i>Full Load</i> .....	43
Gambar 4.23 RAO <i>yaw</i> pada <i>Shuttle Tanker</i> kondisi <i>Full Load</i> .....	43
Gambar 4.24 RAO <i>surge</i> pada <i>Shuttle Tanker</i> kondisi <i>Half Load</i> .....	44
Gambar 4.25 RAO <i>sway</i> pada <i>Shuttle Tanker</i> kondisi <i>Half Load</i> .....	45
Gambar 4.26 RAO <i>heave</i> pada <i>Shuttle Tanker</i> kondisi <i>Half Load</i> .....	45
Gambar 4.27 RAO <i>roll</i> pada <i>Shuttle Tanker</i> kondisi <i>Half Load</i> .....	46
Gambar 4.28 RAO <i>pitch</i> pada <i>Shuttle Tanker</i> kondisi <i>Half Load</i> .....	47
Gambar 4.29 RAO <i>yaw</i> pada <i>Shuttle Tanker</i> kondisi <i>Half Load</i> .....	47
Gambar 4.30 RAO <i>surge</i> pada <i>Shuttle Tanker</i> kondisi <i>ballast</i> .....	48
Gambar 4.31 RAO <i>sway</i> pada <i>Shuttle Tanker</i> kondisi <i>ballast</i> .....	49
Gambar 4.32 RAO <i>heave</i> pada <i>Shuttle Tanker</i> kondisi <i>ballast</i> .....	49
Gambar 4.33 RAO <i>roll</i> pada <i>Shuttle Tanker</i> kondisi <i>ballast</i> .....	50

Gambar 4.34 RAO <i>pitch</i> pada <i>Shuttle Tanker</i> kondisi <i>ballast</i> .....	50
Gambar 4.35 RAO <i>yaw</i> pada <i>Shuttle Tanker</i> kondisi <i>ballast</i> .....	51
Gambar 4.36 Konfigurasi SSP <i>Stand Alone</i> .....	52
Gambar 4.37 Konfigurasi sistem tambat <i>Catenary</i> pada Orcaflex .....	53
Gambar 4.38 Konfigurasi sistem tambat <i>Taut</i> pada Orcaflex .....	53
Gambar 4.39 Respon gerak <i>surge</i> SSP <i>Stand Alone</i> bermuatan <i>Full Load</i> konf. <i>Catenary</i> .....	57
Gambar 4.40 Respon gerak <i>sway</i> SSP <i>Stand Alone</i> bermuatan <i>Full Load</i> konf. <i>Catenary</i> .....	57
Gambar 4.41 Respon gerak <i>heave</i> SSP <i>Stand Alone</i> bermuatan <i>Full Load</i> konf. <i>Catenary</i> .....	58
Gambar 4.42 Respon gerak <i>roll</i> SSP <i>Stand Alone</i> bermuatan <i>Full Load</i> konf. <i>Catenary</i> .....	58
Gambar 4.43 Respon gerak <i>pitch</i> SSP <i>Stand Alone</i> bermuatan <i>Full Load</i> konf. <i>Catenary</i> .....	59
Gambar 4.44 Respon gerak <i>yaw</i> SSP <i>Stand Alone</i> bermuatan <i>Full Load</i> konf. <i>Catenary</i> .....	59
Gambar 4.45 Respon gerak <i>surge</i> SSP <i>Stand Alone</i> bermuatan <i>Ballast load</i> konf. <i>Catenary</i> .....	61
Gambar 4.46 Respon gerak <i>sway</i> SSP <i>Stand Alone</i> bermuatan <i>Ballast load</i> konf. <i>Catenary</i> .....	61
Gambar 4.47 Respon gerak <i>heave</i> SSP <i>Stand Alone</i> bermuatan <i>Ballast load</i> konf. <i>Catenary</i> .....	62
Gambar 4.48 Respon gerak <i>roll</i> SSP <i>Stand Alone</i> bermuatan <i>Ballast load</i> konf. <i>Catenary</i> .....	62
Gambar 4.49 Respon gerak <i>pitch</i> SSP <i>Stand Alone</i> bermuatan <i>Ballast load</i> konf. <i>Catenary</i> .....	63
Gambar 4.50 Respon gerak <i>yaw</i> SSP <i>Stand Alone</i> bermuatan <i>Ballast load</i> konf. <i>Catenary</i> .....	63
Gambar 4.51 Respon gerak <i>surge</i> SSP <i>Stand Alone</i> bermuatan <i>Full Load</i> konf. <i>Taut</i> .....	65

Gambar 4.52 Respon gerak <i>sway</i> SSP <i>Stand Alone</i> bermuatan <i>Full Load</i> konf. <i>Taut</i> .....	65
Gambar 4.53 Respon gerak <i>heave</i> SSP <i>Stand Alone</i> bermuatan <i>Full Load</i> konf. <i>Taut</i> .....	66
Gambar 4.54 Respon gerak <i>roll</i> SSP <i>Stand Alone</i> bermuatan <i>Full Load</i> konf. <i>Taut</i> .....	66
Gambar 4.55 Respon gerak <i>pitch</i> SSP <i>Stand Alone</i> bermuatan <i>Full Load</i> konf. <i>Taut</i> .....	67
Gambar 4.56 Respon gerak <i>yaw</i> SSP <i>Stand Alone</i> bermuatan <i>Full Load</i> konf. <i>Taut</i> .....	67
Gambar 4.57 Respon gerak <i>surge</i> SSP <i>Stand Alone</i> bermuatan <i>Ballast load</i> konf. <i>Taut</i> .....	69
Gambar 4.58 Respon gerak <i>sway</i> SSP <i>Stand Alone</i> bermuatan <i>Ballast load</i> konf. <i>Taut</i> .....	69
Gambar 4.59 Respon gerak <i>heave</i> SSP <i>Stand Alone</i> bermuatan <i>Ballast load</i> konf. <i>Taut</i> .....	70
Gambar 4.60 Respon gerak <i>roll</i> SSP <i>Stand Alone</i> bermuatan <i>Ballast load</i> konf. <i>Taut</i> .....	70
Gambar 4.61 Respon gerak <i>pitch</i> SSP <i>Stand Alone</i> bermuatan <i>Ballast load</i> konf. <i>Taut</i> .....	71
Gambar 4.62 Respon gerak <i>yaw</i> SSP <i>Stand Alone</i> bermuatan <i>Ballast load</i> konf. <i>Taut</i> .....	71
Gambar 4.63 <i>Tension</i> pada <i>mooring line</i> 9 pada setiap tinggi gelombang signifikan pada SSP tertambat <i>Full Load</i> .....	73
Gambar 4.64 <i>tension</i> pada <i>mooring line</i> 9 pada setiap tinggi gelombang signifikan pada SSP bermuatan <i>Ballast Load</i> kondisi <i>Stand Alone</i> .....	76
Gambar 4.65 <i>tension</i> pada <i>mooring line</i> 9 pada setiap tinggi gelombang signifikan pada SSP bermuatan <i>Full Load</i> kondisi <i>Stand Alone</i> .....	78
Gambar 4.66 <i>tension</i> pada <i>mooring line</i> 9 pada setiap tinggi gelombang signifikan pada SSP bermuatan <i>Full Load</i> kondisi <i>Stand Alone</i> .....	81
Gambar 4.67 <i>Tandem offloading</i> dengan arah pembebanan 90° .....	82
Gambar 4.68 <i>Tandem offloading</i> dengan arah pembebanan 210° .....	83

Gambar 4.69 <i>Tandem offloading</i> dengan arah pembebanan 330° .....	83
Gambar 70 Grafik hubungan <i>safety factor</i> dengan tinggi gelombang signifikan pada kondisi 1 (a), kondisi 2 (b), kondisi 3 (c), kondisi 4 (d), kondisi 5 (e), dan kondisi 6 (f) .....	136
Gambar 4.72 Respon gerak <i>heave</i> SSP (a) dan <i>Shuttle Tanker</i> (b) pada kondisi <i>offloading</i> SSP Full Load – <i>Shuttle Tanker ballast</i> .....	90
Gambar 4.73 Respon gerak <i>roll</i> SSP (a) dan <i>Shuttle Tanker</i> (b) pada kondisi <i>offloading</i> SSP Full Load – <i>Shuttle Tanker ballast</i> .....	90
Gambar 4.74 Respon gerak <i>pitch</i> SSP (a) dan <i>Shuttle Tanker</i> (b) pada kondisi <i>offloading</i> SSP Full Load – <i>Shuttle Tanker ballast</i> .....	91
Gambar 4.75 Respon gerak <i>yaw</i> SSP (a) dan <i>Shuttle Tanker</i> (b) pada kondisi <i>offloading</i> SSP Full Load – <i>Shuttle Tanker ballast</i> .....	93
Gambar 4.76 Respon gerak <i>surge</i> SSP (a) dan <i>Shuttle Tanker</i> (b) pada kondisi <i>Offloading</i> SSP Ballast load – <i>Shuttle Tanker Half Load</i> .....	93
Gambar 4.77 Respon gerak <i>sway</i> SSP (a) dan <i>Shuttle Tanker</i> (b) pada kondisi <i>offloading</i> SSP Ballast load – <i>Shuttle Tanker Half Load</i> .....	94
Gambar 4.78 Respon gerak <i>heave</i> SSP (a) dan <i>Shuttle Tanker</i> (b) pada kondisi <i>Offloading</i> SSP Ballast load – <i>Shuttle Tanker halfLoad</i> .....	94
Gambar 4.79 Respon gerak <i>roll</i> SSP (a) dan <i>Shuttle Tanker</i> (b) pada kondisi <i>offloading</i> SSP Ballast load – <i>Shuttle Tanker Half Load</i> .....	94
Gambar 4.80 Respon gerak <i>pitch</i> SSP (a) dan <i>Shuttle Tanker</i> (b) pada kondisi <i>offloading</i> SSP Ballast load – <i>Shuttle Tanker Half Loa</i> .....	95
Gambar 4.81 Respon gerak <i>surge</i> SSP (a) dan <i>Shuttle Tanker</i> (b) pada kondisi <i>offloading</i> SSP Ballast load – <i>Shuttle Tanker Full Load</i> .....	97
Gambar 4.82 Respon gerak <i>sway</i> SSP (a) dan <i>Shuttle Tanker</i> (b) pada kondisi <i>offloading</i> SSP Ballast load – <i>Shuttle Tanker Full Load</i> .....	97
Gambar 4.83 Respon gerak <i>heave</i> SSP (a) dan <i>Shuttle Tanker</i> (b) pada kondisi <i>offloading</i> SSP Ballast load – <i>Shuttle Tanker Full Load</i> .....	97
Gambar 4.84 Respon gerak <i>roll</i> SSP (a) dan <i>Shuttle Tanker</i> (b) pada kondisi <i>offloading</i> SSP Ballast load – <i>Shuttle Tanker Full Load</i> .....	98
Gambar 4.85 Respon gerak <i>pitch</i> SSP (a) dan <i>Shuttle Tanker</i> (b) pada kondisi <i>offloading</i> SSP Ballast load – <i>Shuttle Tanker Full Load</i> .....	98



Gambar 4.86 Respon gerak yaw SSP (a) dan <i>Shuttle Tanker</i> (b) pada kondisi <i>offloading SSP Ballast load – Shuttle Tanker Full Load</i> .....	98
Gambar 4.87 Respon gerak surge SSP (a) dan <i>Shuttle Tanker</i> (b) pada kondisi <i>offloading SSP Full Load – Shuttle Tanker Ballast load</i> .....	100
Gambar 4.88 Respon gerak sway SSP (a) dan <i>Shuttle Tanker</i> (b) pada kondisi <i>offloading SSP Full Load – Shuttle Tanker Ballast load</i> .....	101
Gambar 4.89 Respon gerak heave SSP (a) dan <i>Shuttle Tanker</i> (b) pada kondisi <i>offloading SSP Full Load – Shuttle Tanker Ballast load</i> .....	101
Gambar 4.90 Respon gerak roll SSP (a) dan <i>Shuttle Tanker</i> (b) pada kondisi <i>offloading SSP Ballast load – Shuttle Tanker Full Load</i> .....	101
Gambar 4.91 Respon gerak pitch SSP (a) dan <i>Shuttle Tanker</i> (b) pada kondisi <i>offloading SSP Full Load – Shuttle Tanker Ballast load</i> .....	102
Gambar 4.92 Respon gerak yaw SSP (a) dan <i>Shuttle Tanker</i> (b) pada kondisi <i>offloading SSP Full Load – Shuttle Tanker Ballast load</i> .....	102
Gambar 4.93 Respon gerak surge SSP (a) dan <i>Shuttle Tanker</i> (b) pada kondisi <i>offloading SSP Ballast load – Shuttle Tanker Half Load</i> .....	104
Gambar 4.94 Respon gerak sway SSP (a) dan <i>Shuttle Tanker</i> (b) pada kondisi <i>offloading SSP Ballast load – Shuttle Tanker Half Load</i> .....	105
Gambar 4.95 Respon gerak heave SSP (a) dan <i>Shuttle Tanker</i> (b) pada kondisi <i>offloading SSP Ballast load – Shuttle Tanker Half Load</i> .....	105
Gambar 4.96 Respon gerak roll SSP (a) dan <i>Shuttle Tanker</i> (b) pada kondisi <i>offloading SSP Ballast load – Shuttle Tanker Half Load</i> .....	105
Gambar 4.97 Respon gerak pitch SSP (a) dan <i>Shuttle Tanker</i> (b) pada kondisi <i>offloading SSP Ballast load – Shuttle Tanker Half Load</i> .....	106
Gambar 4.98 Respon gerak yaw SSP (a) dan <i>Shuttle Tanker</i> (b) pada kondisi <i>offloading SSP Ballast load – Shuttle Tanker Half Load</i> .....	106
Gambar 4.99 Respon gerak surge SSP (a) dan <i>Shuttle Tanker</i> (b) pada kondisi <i>offloading SSP Ballast load – Shuttle Tanker Full Load</i> .....	106
Gambar 4.100 Respon gerak sway SSP (a) dan <i>Shuttle Tanker</i> (b) pada kondisi <i>offloading SSP Ballast load – Shuttle Tanker Full Load</i> .....	108
Gambar 4.101 Respon gerak heave SSP (a) dan <i>Shuttle Tanker</i> (b) pada kondisi <i>offloading SSP Ballast load – Shuttle Tanker Full Load</i> .....	109

Gambar 4.102 Respon gerak <i>roll</i> SSP (a) dan <i>Shuttle Tanker</i> (b) pada kondisi <i>offloading</i> SSP <i>Ballast load</i> – <i>Shuttle Tanker Full Load</i> .....	109
Gambar 4.103 Respon gerak <i>pitch</i> SSP (a) dan <i>Shuttle Tanker</i> (b) pada kondisi <i>offloading</i> SSP <i>Ballast load</i> – <i>Shuttle Tanker Full Load</i> .....	109
Gambar 4.104 Respon gerak <i>yaw</i> SSP (a) dan <i>Shuttle Tanker</i> (b) pada kondisi <i>offloading</i> SSP <i>Ballast load</i> – <i>Shuttle Tanker Full Load</i> .....	110
Gambar 4.105 <i>Tension</i> pada <i>Mooring Line</i> 9 pada setiap tinggi gelombang signifikan pada SSP <i>Full Load</i> - <i>Shuttle Tanker ballast</i> konf. <i>Catenary</i> . .....	110
Gambar 4.106 <i>Tension</i> pada <i>Mooring Line</i> 9 pada setiap tinggi gelombang signifikan pada SSP <i>Ballast load</i> - <i>Shuttle Tanker half load</i> dengan konfigurasi <i>Catenary</i> .....	110
Gambar 4.107 <i>Tension</i> pada <i>Mooring Line</i> 9 pada setiap tinggi gelombang signifikan pada SSP <i>Ballast load</i> - <i>Shuttle Tanker Full Load</i> dengan konfigurasi <i>Catenary</i> 1 .....	117
Gambar 4.108 <i>Tension</i> pada <i>Mooring Line</i> 9 pada setiap tinggi gelombang signifikan pada SSP <i>Full Load</i> - <i>Shuttle Tanker Ballast load</i> dengan konfigurasi <i>Taut</i> .....	119
Gambar 4.109 <i>Tension</i> pada <i>Mooring Line</i> 9 pada setiap tinggi gelombang signifikan pada SSP bermuatan <i>Ballast load</i> – ST <i>Half Load</i> .....	120
Gambar 4.110 <i>Tension</i> pada <i>Mooring Line</i> 9 pada setiap tinggi gelombang signifikan pada SSP bermuatan <i>ballast</i> – ST <i>Full Load</i> .....	122
Gambar 4.111 Hubungan <i>safety factor</i> dengan tinggi gelombang signifikan pada kondisi 1 (a), kondisi 2 (b), kondisi 3 (c), kondisi 4 (d), kondisi 5 (e), dan kondisi 6 (f).....	124
Gambar 4.112 Penempatan <i>hawser</i> pada struktur .....	129
Gambar 4.113 Grafik hubungan <i>safety factor</i> dengan tinggi gelombang signifikan pada kondisi 1 (a), kondisi 2 (b), kondisi 3 (c), kondisi 4 (d), kondisi 5 (e), dan kondisi 6 (f).....	132

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Safety factor</i> kondisi <i>intact</i> dan <i>damage</i> .....	19
Tabel 3.1 Principal Dimension Sevan S400 (Sevan Marine, 2011) .....	24
Tabel 3.2 Principal dimension <i>Shuttle Tanker</i> .....	25
Tabel 3.3 Mooring Line properties Sevan S400 .....	26
Tabel 3.4 Poperties tali tambat kapal .....	26
Tabel 3.5 Data sebaran gelombang Blok Masela (Fugro, 2012).....	27
Tabel 3.6 Data periode yang digunakan pada penelitian .....	27
Tabel 3.7 Data angin dan arus Blok Masela (Madfreeza, 2010) .....	27
Tabel 4.1 Validasi pemodelan SSP .....	30
Tabel 4.2 Validasi pemodelan <i>Shuttle Tanker</i> .....	32
Tabel 4.3 Nilai maximum RAO SSP kondisi <i>Full Load</i> .....	33
Tabel 4.4 Karakteristik gerak struktur SSP kondisi <i>ballast</i> .....	37
Tabel 4.5 Nilai maximum RAO <i>Shuttle Tanker</i> kondisi <i>Full Load</i> .....	40
Tabel 4.6 Nilai maximum RAO <i>Shuttle Tanker</i> kondisi <i>Half Load</i> .....	44
Tabel 4.7 Nilai maximum RAO <i>Shuttle Tanker</i> kondisi <i>Ballast</i> .....	48
Tabel 4.8 Skenario penelitian kondisi <i>Stand Alone</i> .....	52
Tabel 4.9 Posisi <i>anchor</i> untuk penempatan <i>Mooring Line</i> .....	54
Tabel 4.10 Posisi <i>fairlead</i> untuk penempatan <i>Mooring Line</i> .....	54
Tabel 4.11 Skenario kondisi SSP <i>Stand Alone</i> .....	55
Tabel 4.11 Nilai amplitudo signifikan kondisi 1 .....	56
Tabel 4.12 Nilai amplitudo signifikan kondisi 2 .....	60
Tabel 4.13 Nilai amplitudo signifikan kondisi 3 .....	64
Tabel 4.14 Nilai amplitudo signifikan kondisi 4 .....	68
Tabel 4.15 Nilai <i>Tension Mooring Line</i> SSP kondisi 1 .....	72
Tabel 4.16 Nilai <i>safety factor</i> dari <i>Tension</i> signifikan pada struktur SSP kondisi 1 .....	73
Tabel 4.17 Nilai <i>Tension Mooring Line</i> SSP kondisi 2 .....	74
Tabel 4.18 Nilai <i>safety factor</i> dari <i>Tension</i> signifikan pada struktur SSP tertambat dengan kondisi muatan <i>Ballast load</i> konf. <i>Catenary</i> .....	76

Tabel 4.20 Nilai <i>safety factor</i> dari <i>Tension</i> signifikan pada struktur SSP tertambat dengan kondisi muatan <i>Full Load</i> konf. <i>Taut</i> .....	78
Tabel 4.21 Nilai <i>Tension Mooring Line</i> SSP kondisi 4 .....	80
Tabel 4.22 Nilai <i>safety factor</i> dari <i>Tension</i> signifikan pada struktur SSP tertambat dengan kondisi muatan <i>Ballast load</i> konf. <i>Taut</i> .....	81
Tabel 4.23 Skenario penelitian kondisi <i>offloading</i> .....	84
Tabel 4.24 Ilustrasi kondisi .....	85
Tabel 4.25 Ilustrasi kondisi .....	86
Tabel 4.26 Nilai amplitudo signifikan SSP <i>Full Load</i> .....	87
Tabel 4.27 Nilai amplitudo signifikan <i>Shuttle Tanker Ballast load</i> .....	87
Tabel 4.28 Nilai amplitudo signifikan SSP <i>Ballast load</i> .....	92
Tabel 4.29 Nilai amplitudo signifikan <i>Shuttle Tanker Half Load</i> .....	92
Tabel 4.30 Nilai amplitudo signifikan SSP <i>Ballast load</i> .....	95
Tabel 4.31 Nilai amplitudo signifikan <i>Shuttle Tanker Full Load</i> .....	96
Tabel 4.32 Nilai amplitudo signifikan SSP <i>Full Load</i> .....	99
Tabel 4.33 Nilai amplitudo signifikan <i>Shuttle Tanker Ballast load</i> .....	100
Tabel 4.34 Nilai amplitudo signifikan SSP <i>Ballast load</i> .....	103
Tabel 4.35 Nilai amplitudo signifikan <i>Shuttle Tanker Half Load</i> .....	103
Tabel 4.36 Nilai amplitudo signifikan SSP <i>Ballast load</i> .....	107
Tabel 4.37 Nilai amplitudo signifikan <i>Shuttle Tanker Full Load</i> .....	107
Tabel 4.38 Rangkuman kondisi kritis <i>tandem offloading</i> berdasarkan respon gerak pada kondisi 1 .....	111
Tabel 4.39 Rangkuman kondisi kritis <i>tandem offloading</i> berdasarkan respon gerak pada kondisi 2 .....	111
Tabel 4.40 Rangkuman kondisi kritis <i>tandem offloading</i> berdasarkan respon gerak pada kondisi 3 .....	112
Tabel 4.41 Rangkuman kondisi kritis <i>tandem offloading</i> berdasarkan respon gerak pada kondisi 4 .....	113
Tabel 4.42 Rangkuman kondisi kritis <i>tandem offloading</i> berdasarkan respon gerak pada kondisi 5 .....	114
Tabel 4.43 Rangkuman kondisi kritis <i>tandem offloading</i> berdasarkan respon gerak pada kondisi 6 .....	114

Tabel 4.44 <i>Tension Mooring Line</i> kondisi 1 .....	116
Tabel 4.45 Nilai <i>Tension</i> signifikan SSP kondisi 2 .....	118
Tabel 4.46 Nilai <i>Tension Mooring Line</i> pada saat kondisi 3 .....	119
Tabel 4.47 Nilai <i>Tension</i> signifikan SSP kondisi 4 .....	121
Tabel 4.48 Nilai <i>Tension</i> signifikan SSP kondisi 5 .....	123
Tabel 4.49 Nilai <i>Tension</i> signifikan kondisi 6 .....	124
Tabel 4.50 Rangkuman nilai <i>safety factor</i> pada setiap kondisi .....	126
Tabel 4.51 Besar <i>Tension</i> pada <i>hawser</i> di semua kondisi .....	130
Tabel 4.52 Rangkuman kondisi kritis berdasarkan nilai <i>safety factor</i> pada <i>hawser</i> .....	133
Tabel 4.53 Rangkuman operabilitas berdasarkan respon gerak dan <i>tension</i> ...	137
Tabel 4.54 Korelasi kondisi batas dengan data sebaran gelombang Blok Masela .....	138



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	Grafik <i>time history tension mooring line 9</i> kondisi 1 <i>offloading</i>
Lampiran B	Grafik <i>time history tension mooring line 9</i> kondisi 2 <i>offloading</i>
Lampiran C	Grafik <i>time history tension mooring line 9</i> kondisi 3 <i>offloading</i>
Lampiran D	Grafik <i>time history tension mooring line 9</i> kondisi 4 <i>offloading</i>
Lampiran E	Grafik <i>time history tension mooring line 9</i> kondisi 5 <i>offloading</i>
Lampiran F	Grafik <i>time history tension mooring line 9</i> kondisi 6 <i>offloading</i>

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 LATAR BELAKANG**

Pengeboran minyak yang banyak ditemui di perairan dangkal mengakibatkan cadangan minyak di perairan dangkal juga menipis. Padahal, kebutuhan energi primer dunia diperkirakan akan meningkat cukup tinggi seiring dengan pertumbuhan populasi dan perkembangan ekonomi dunia (*World Energy Outlook*, 2013, IEA).

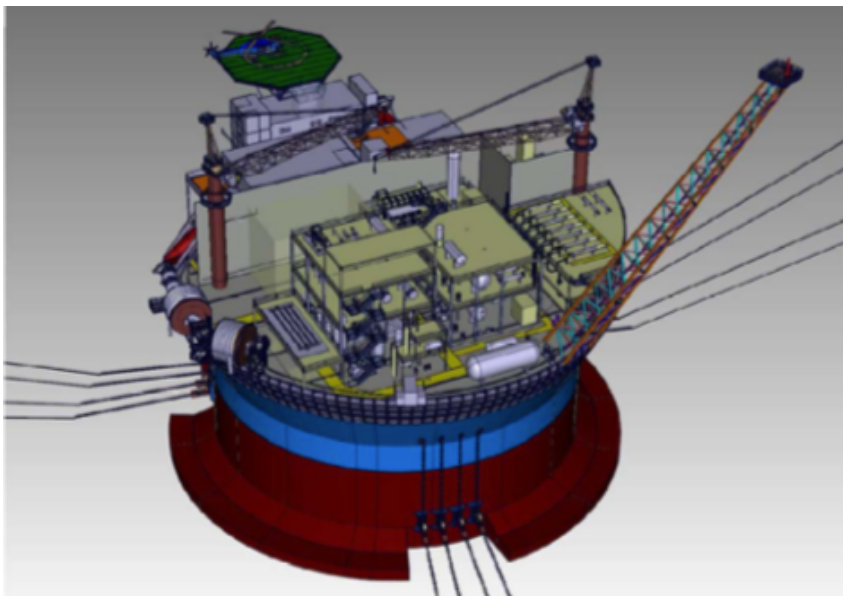
*World Energy Outlook* (2014) juga mencatat, bahwa Perkembangan produksi dan pasokan minyak bumi selama 2003 - 2013 menunjukkan kecenderungan menurun, masing-masing sebesar 419,26 juta barel pada tahun 2003 dan menjadi sekitar 300,83 juta barel pada tahun 2013. Penurunan produksi tersebut disebabkan oleh sumur-sumur produksi minyak bumi yang umumnya sudah tua sementara produksi sumur baru relatif terbatas. Peningkatan konsumsi BBM di dalam negeri dan penurunan produksi minyak bumi telah menyebabkan ekspor minyak bumi menurun, sebaliknya impor minyak bumi dan BBM terus meningkat. Oleh karena itu, seiring berjalannya waktu, teknologi eksplorasi minyak di perairan laut dalam *offshore* semakin dikembangkan. Namun kenyataannya, semakin dalam laut tempat pengoperasian pengeboran minyak, maka akan semakin besar pula *cost* atau harga pengoperasiannya. Saat ini, terdapat 4 tipe *offshore mobile drilling units*;

- a. *Submersible drilling rigs*
- b. *Jack-up units*
- c. *Semisubmersible Drilling Rigs*
- d. *Drill-ships*

Pengeboran laut di atas 1000 ft biasanya menggunakan *Floating Production and Storage Operation* atau biasa dikenal dengan FPSO. FPSO adalah suatu struktur yang terintegrasi dengan kemampuan untuk berpindah tempat apabila struktur tersebut telah selesai beroperasi. Adapun keuntungan menggunakan FPSO adalah (1) memiliki nilai operasi yang efektif jika digunakan untuk pengeboran laut dalam, dan (2) Kapasitas muatan dan *offloading* akan mengurangi kebutuhan

pemakaian rangkaian pipa. Transportasi hidrokarbon dilakukan oleh *Shuttle Tanker* yang datang secara teratur.

Saat ini, banyak ahli yang berupaya untuk mencari inovasi terbaru dalam pengeboran minyak lepas pantai laut dalam. Meskipun FPSO dianggap sebagai unit pengeboran minyak yang paling sesuai untuk pengeboran minyak lepas pantai sangat dalam, konvensional FPSO dianggap masih menimbulkan beberapa masalah yang mengakibatkan harga pengoperasian terbilang mahal. *Sevan Stabilized Platform* merupakan inovasi baru dalam dunia eksplorasi dan eksploitasi minyak dan gas lepas pantai. Struktur tersebut diklaim mampu menyediakan luasan geladak dan kapasitas muat beban yang lebih besar sekaligus menelan biaya pengadaan yang lebih murah dibandingkan dengan konsep struktur sejenis yang sudah terbilang konvensional seperti struktur apung berbadan dasar kapal (*ship-based*). Inovasi baru ini dianggap ideal untuk operasi pengeboran minyak laut dalam bahkan dengan sangat dalam (*ultradeep water*). Konsep baru untuk FPSO dengan lambung silinder ini dikembangkan oleh Sevan Marine. Keuntungan lain dari struktur dengan bentuk silinder ini adalah disainnya yang fleksibel dan memiliki karakteristik gerak yang halus ketika digunakan untuk perairan dalam atau dangkal. Ilustrasi pemodelan SSP dapat dilihat pada Gambar 1.1



**Gambar 1.1** Ilustrasi Pemodelan SSP S400 (sumber: *Sevan Marine*)

Dalam penelitian ini akan dilakukan analisis *tension* dan *motion* pada sistem tambat *Catenary* dan *Taut* pada saat struktur SSP terapung bebas dan pada saat struktur melakukan *offloading* minyak secara *tandem* yang nantinya akan dibandingkan operabilitasnya. Analisis pertama-tama dilakukan dengan mencari karakteristik struktur dalam kondisi terapung bebas. Analisis dilakukan dengan menggunakan 3 arah pembebanan yakni 90°, 210°, dan 330° dengan 3 kondisi yaitu SSP dengan kondisi muatan *Full Load* dan *Ballast load* dan kondisi muatan *Shuttle Tanker Full Load*, *Half Load*, dan *Ballast load*. Kemudian analisis dilakukan dengan SSP secara *stand alone* yang kemudian akan dianalisa *tension* dan *motion* dari sistem *mooring Catenary* dan *Taut*. Kemudian analisis *tension* dan *motion* juga dilakukan pada struktur yang tengah melakukan proses *offloading*.

Dalam proses *offloading* struktur apung, sistem tambat atau *mooring system* adalah salah satu hal yang sangat penting untuk menahan struktur yang terkena angin, gelombang, dan arus. Chakrabarti, S. (2005) juga mengungkapkan bahwa desain sistem tambat merupakan kombinasi yang seimbang untuk menghasilkan sistem yg *compliant* (lentur) untuk menghindari gaya berlebih pada bangunan, dan membuatnya cukup kaku agar tidak terjadi pergeseran berlebih. Djatmiko (2003), mengungkapkan bahwa gerakan dari suatu struktur terapung menimbulkan adanya gaya-gaya yang bekerja pada sistem tambat (*mooring system*). Begitu juga sebaliknya sistem tambat memberikan gaya pengembali pada struktur agar gerakannya menjadi kecil. Oleh karena itu analisis hidrodinamis pada sistem tambat juga harus dilakukan untuk mengetahui operabilitas suatu struktur yang beroperasi di suatu tempat dan untuk memastikan bahwa sistem tambat memiliki kapasitas yang cukup untuk menjaga struktur SSP dan *Shuttle Tanker* berada pada posisi yang tepat pada saat proses *offloading*.

Interaksi hidrodinamis pada proses *offloading Shuttle Tanker* dengan FPSO perlu dihitung agar dapat mengetahui batas aman operasi *side by side* dan *tandem offloading* dapat dilakukan, dan untuk mendapatkan informasi mengenai kemungkinan tubrukan yang terjadi pada struktur.

## 1.2 RUMUSAN MASALAH

Perumusan masalah yang akan dibahas di studi ini adalah:

1. Bagaimana *tension* tali tambat dan gerak struktur pada sistem *mooring Catenary* dan *Taut* pada saat struktur terapung bebas?
2. Bagaimana *tension* tali tambat dan gerak struktur pada sistem *mooring Catenary* dan *Taut* pada saat struktur beada dalam proses *tandem offloading*?
3. Bagaimana analisa operabilitas sistem *mooring Catenary* dan *Taut* struktur?

## 1.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan yang ingin dicapai di studi ini adalah:

1. Untuk mengetahui *tension* tali tambat dan gerak struktur pada sistem *mooring Catenary* dan *Taut* pada saat struktur terapung bebas
2. Untuk mengetahui *tension* tali tambat dan gerak struktur pada sistem *mooring Catenary* dan *Taut* pada saat struktur beada dalam proses *tandem offloading*
3. Untuk mengetahui operabilitas sistem *mooring Catenary* dan *Taut* struktur

## 1.4 MANFAAT PENELITIAN

Manfaat yang didapat dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui sistem *mooring* yang paling sesuai untuk struktur jika digunakan di perairan Masela yang mungkin dapat berguna sebagai referensi untuk para teknisi yang akan merancang sistem tambat pada FPSO di lain waktu.
2. Mengenalkan Sevan Stabilized Platform sebagai teknologi baru dalam pengeboran minyak perairan sangat dalam (*ultradeep water*) yang dapat menghemat biaya pengeboran.

## 1.5 BATASAN MASALAH

Batasan masalah yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Penelitian ini memakai objek SSP S400 dan *Shuttle Tanker* kapasitas 160000 DWT.



2. Objek yang dianalisis yakni SSP dan *Shuttle Tanker* dianggap *rigid body*.
3. Beban lingkungan yang ditinjau adalah beban gelombang, beban arus, dan beban angin.
4. Lokasi analisis adalah perairan Laut Masela.
5. Arah pembebanan dalam analisis meliputi  $90^\circ$ ,  $210^\circ$ , dan  $330^\circ$ .
6. Tali tambat SSP berjumlah dua belas buah yang dipasang pada tiga titik.
7. Jangkar pada sistem tambat dianggap *fixed* sehingga tidak diperlukan adanya analisis *holding capacity*.
8. Operasi *offloading* diasumsikan sebagai kegiatan yang harus selesai pada satu kali operasi dari awal dimulainya operasi. Operasi *offloading* tidak dapat ditunda maupun dihentikan sementara.
9. Analisis gaya yang bekerja pada *fender* diabaikan.
10. Kontur dasar laut dianggap datar dan rata.
11. *Riser* tidak dianalisis.
12. Faktor operabilitas hanya disebabkan oleh kondisi cuaca dan lingkungan, bukan karena keterlambatan armada, *maintenance*, maupun faktor penghambat yang lain.

## 1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika Penulisan pada penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Bab I Pendahuluan. Bab ini menjelaskan tentang latar belakang penelitian yang akan dilakukan, perumusan masalah, tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian, manfaat yang diperoleh, serta ruang lingkup penelitian untuk membatasi analisis yang dilakukan.
2. Bab II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori. Bab ini berisi referensi dan juga teori-teori pendukung yang digunakan sebagai acuan atau pedoman dalam menyelesaikan tugas akhir. Referensi tersebut bersumber pada jurnal lokal maupun internasional, literatur, *code*, dan juga buku yang berkaitan dengan topik yang dibahas.
3. Bab III Metode Penelitian. Bab ini berisi tentang alur pengerjaan tugas akhir dengan tujuan untuk memecahkan masalah yang diangkat dalam bentuk diagram alir atau *flow chart* yang disusun secara sistematis yang

dilengkapi pula dengan data-data penelitian serta penjelasan detail untuk setiap langkah pengerjaannya.

4. Bab IV Analisis dan Pembahasan. Bab ini berisi penjelasan mengenai pengolahan data yang diperoleh, pemodelan struktur, pemodelan sistem tambat, serta hasil analisis simulasi model pada *software*. Hasil analisis simulasi mencakup analisis karakteristik SSP dan *Shuttle Tanker* dalam kondisi terapung bebas, analisis respon gerak struktur SSP dan *tension* tali tambat dalam kondisi SSP tertambat, analisis respon gerak SSP dan *Shuttle Tanker* serta *tension* tali tambat pada saat proses *side by side offloading*, yang nantinya outputannya akan dibandingkan antara *offloading tandem* dan *side by side*.
5. Bab V Penutup. Bab ini berisi simpulan yang merupakan uraian singkat dari keseluruhan hasil analisis. Uraian singkat ini diharapkan bisa menjawab rumusan masalah yang ada. Pada bab ini terdapat pula saran yang bermanfaat guna keberlanjutan penelitian terkait kedepannya

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

#### **2.1 TINJAUAN PUSTAKA**

Penelitian mengenai interaksi hidrodinamis yang terjadi pada saat proses *offloading* hidrokarbon struktur SSP dengan *Shuttle Tanker* merupakan penelitian yang sedang dikembangkan saat ini, mengingat struktur ini merupakan terobosan baru dalam pengeboran minyak laut dalam bahkan sangat dalam (*ultradeep water*) karena mampu menghemat biaya operasi pengeboran. (Syvertsen, 2004).

Syvertsen (2004) dalam jurnalnya juga mengungkapkan bahwa *Sevan Silinder Platform* sebagai inovasi baru dalam dunia pengeboran minyak yang menawarkan desain unik yang dikembangkan dari konvensional FPSO berdasarkan kapasitas penyimpanan minyak yang dibutuhkan. Studi mengenai objek temuan terbaru ini sebelumnya pernah dilakukan oleh Perwitasari (2010). Rosari (2016), juga telah melakukan penelitian mengenai interaksi hidrodinamis dan operabilitas pada sistem *offloading* SSP dengan *Shuttle Tanker*.

Rosari (2016) juga menambahkan, analisa hidrodinamis pada *offloading* hidrokarbon perlu dilakukan untuk mengetahui sampai pada batas kondisi apakah operasi *offloading side by side* dan *tandem* aman dilakukan, serta untuk mendapatkan informasi mengenai kemungkinan tubrukan yang terjadi pada struktur. Ditambah lagi, Ratna (2010) dalam jurnalnya juga menambahkan bahwa optimasi pada sistem *offloading* dilakukan untuk mendapatkan efisiensi pada sistem tambat. Wilkerson dan Nagarajaiah (2009) juga telah melakukan penelitian mengenai konfigurasi *offloading* yang optimal pada sistem tambat sebar FPSO. Penelitian mengenai *offloading* hidrokarbon juga pernah dilakukan oleh Wibowo (2014) yang berfokus pada pengaruh variasi jarak horizontal dengan objek dan lingkungan operasi yang sama.

## 2.2 DASAR TEORI

Berikut ini teori-teori pendukung yang dapat digunakan sebagai referensi dalam penelitian ini.

### 2.2.1 *Sevan Stabilized Platform*

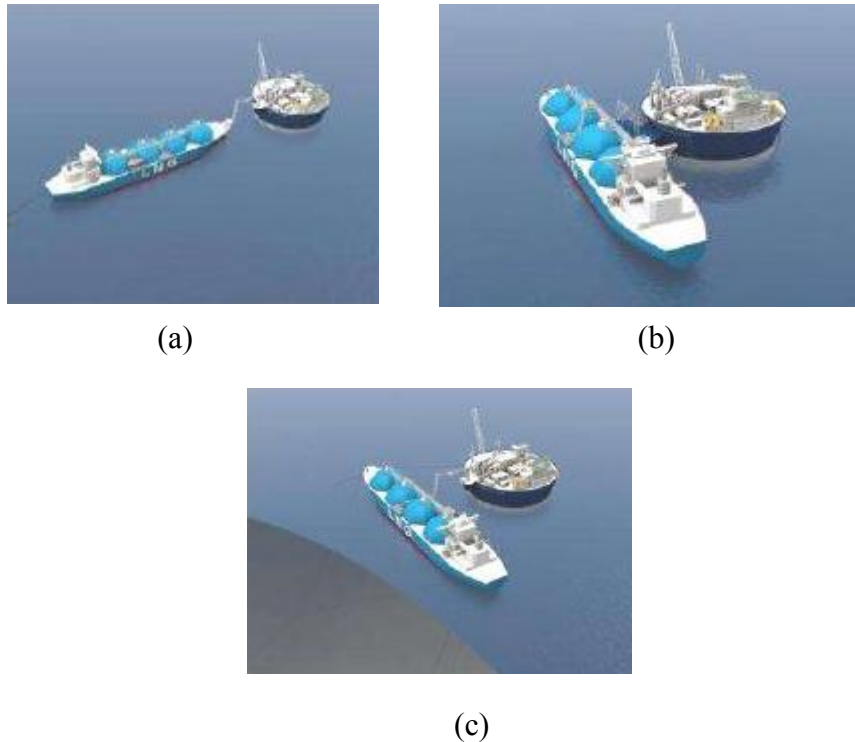
*Sevan Stabilized Platform* adalah FPSO berlambung silinder yang disajikan sebagai konsep dan inovasi baru di dunia pengeboran minyak sangat dalam (*ultradeep water*). FPSO seiring dengan berjalannya waktu, memiliki perkembangan dalam desainnya, yaitu sistem *turret* dan *swivel*nya yang didesain untuk dapat beroperasi di perairan ganas. Pada perairan yang relative tenang FPSO masih menggunakan tali tambat tipe konvensional. Sedangkan, konsep SSP yang ditawarkan tidak membutuhkan sistem *turret* atau *swivel*, sehingga tidak semahal FPSO pada umumnya. Beberapa keuntungan SSP dibanding FPSO lainnya adalah kapasitas penyimpanan yang besar dan *deckload* yang tinggi.

Berbeda dengan desain *spar*, lambung SSP lebih lebar daripada tingginya, Bentuk unit yang bulat membuat unit tidak melakukan banyak pergerakan yang dapat mengarah ke suatu arah, karena perairan menghadapi tahanan hidrodinamis yang sama dengan struktur dimanapun arah gelombang berasal. Dimensi karakteristik untuk stuktur SSP adalah diameternya, yang membuatnya menjadi desain yang sangat modular, dengan diameter yang menentukan ukuran dari *platform*.

Beberapa konsep yang dianggap sebagai kelebihan dari SSP:

1. Bersifat *scaleable* untuk kapasitas penyimpanan minyak
2. Memiliki kapasitas menahan beban gelombang yang besar pada *deck* sehingga memiliki cadangan stabilitas yang besar pula.
3. Tidak memerlukan *wheatervaning*
4. Memerlukan jumlah *riser* yang cukup banyak
5. Tidak memerlukan perawatan lebih (karena tidak menggunakan sistem *turret* dan *swivel*)
6. Operabilitasnya yang tinggi karena gerakan *heave* dan *pitch* yang rendah
7. Sistem *offloading* yang aman dan efisien

### 2.2.2 Offloading Tandem dan Side by side



**Gambar 2.1** Moda *offloading* (a) tandem, (b) *side by side*, (c) *offset side by side* pada SSP (Major, 2013)

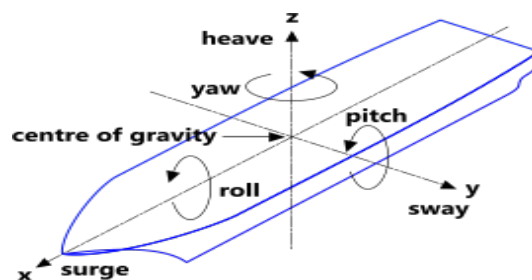
Dalam penciptaannya, terdapat tiga jenis moda *offloading* yang mampu dilakukan oleh SSP untuk melakukan transfer hidrokarbon ke kapal-kapal dengan ukuran yang lebih kecil. Ketiga moda *offloading* tersebut meliputi:

1. *Side by side offloading*. Moda *offloading* ini merupakan *offloading* dengan posisi SSP dengan objek kapal bersebelahan. Seperti pengoperasian *side by side offloading* pada umumnya, diperlukan *fender* untuk menahan benturan dan tali tambat kapal yang terhubung antara objek SSP dengan objek kapal
2. *Tandem offloading*. Konfigurasi *offloading* secara *tandem* memosisikan objek SSP dan objek kapal berada pada satu garis dengan jarak tertentu. Berbeda dengan moda *side by side*, kondisi sarat air kedua objek tidak saling memberikan pengaruh satu sama lain
3. *Offset side by side offloading*. *Offloading* jenis ini pada dasarnya serupa dengan *side by side offloading*, tetapi, ada jarak yang diberikan antara objek SSP dengan objek kapal. Sistem *fender* tidak lagi diperlukan dan kondisi sarat air kedua objek tidak saling memberikan pengaruh satu sama lain.

### 2.2.3 Teori Gerak Bangunan Apung

Bangunan apung secara garis besar dibagi menjadi dua kategori, meliputi bangunan apung berbadan silindris dan bangunan apung berbadan kapal (Soetomo, 2010). Bangunan apung berbadan silindris dibagi lagi menjadi dua bagian yaitu *single bodied* dan *space framed bodied*. Bangunan apung ramping memiliki kriteria perbandingan antara diameter struktur dengan panjang gelombang datang kurang dari sama dengan 0.2, sedangkan bangunan apung gemuk memiliki kriteria perbandingan antara diameter struktur dengan panjang gelombang datang lebih dari 0.2. Struktur bangunan apung memiliki enam moda gerakan bebas yang terbagi menjadi dua kelompok yakni moda gerak translasional dan moda gerak rotasional (Bhattacharyya, 1972)., seperti yang terlampir pada Gambar 2.2:

- a. Moda gerak translasional
  - i. *surge*, arah gerak sumbu x
  - ii. *sway*, arah gerak sumbu y
  - iii. *heave*, arah gerak sumbu z
- b. Moda gerak rotasional
  - i. *roll*, arah gerak sumbu x
  - ii. *pitch*, arah gerak sumbu y
  - iii. *yaw*, arah gerak sumbu z



**Gambar 2.2** Gerak bangunan apung  
(sumber : Soetomo, 2010)

Definisi gerakan kapal dalam enam derajat kebebasan dapat dijelaskan melalui gambar di atas. Dengan memakai konversi sumbu tangan kanan tiga gerakan translasi pada arah sumbu x, y, dan z, adalah masing-masing *surge*,

*sway* dan *heave*, sedangkan untuk gerakan rotasi terhadap ketiga sumbu adalah *roll*, *pitch*, dan *yaw*. Dengan asumsi bahwa 6 mode gerakan di atas adalah *linear* dan *harmonic*, maka 6 persamaan diferensial gerakan kopel dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\sum_{n=1}^6 [(M_{jk} + A_{jk})\ddot{\xi}_k + B_{jk} \dot{\xi}_{jk} + C_{jk} \xi_{jk}] = F_j e^{i\omega t}, j = 1 \quad (2.1)$$

dimana:

$M_{jk}$  = komponen matriks massa kapal

$A_{jk}$   $B_{jk}$  = matriks untuk koefisien-koefisien massa tambah dan redaman

$C_{jk}$  = koefisien-koefisien gaya hidrostatik pengembali

$F_j$  = amplitudo gaya eksitasi dalam besaran kompleks

$F1$ ,  $F2$  dan  $F3$  adalah amplitudo gaya-gaya eksitasi yang menyebabkan *surge*, *sway*, dan *heave*, sedangkan  $F4$ ,  $F5$ , dan  $F6$  adalah amplitudo momen eksitasi untuk *roll*, *pitch*, dan *yaw*. Tanda titik menunjukkan turunan terhadap waktu, sehingga  $\dot{\xi}$  dan  $\ddot{\xi}$  adalah masing-masing kecepatan dan percepatan.

Bila matriks massa, koefisien *added mass*, *damping* dan koefisien pengembali dimasukkan ke persamaan gerak, maka untuk kapal yang simetris dalam arah lateral, enam persamaan gerak *couple* akan dapat dipisahkan menjadi dua bagian, yaitu bagian pertama adalah persamaan *couple* untuk gerak *surge*, *heave*, dan *pitch*, serta bagian kedua adalah persamaan *couple* untuk *sway*, *roll*, dan *yaw*.

#### 2.2.4 Respon Struktur pada Gelombang Reguler

Akibat adanya gelombang reguler, struktur akan memberikan respon berupa gerakan (*motion*). Kita dapat menghitung gerakan dengan terlebih dahulu menghitung gaya yang bekerja pada struktur. Ada beberapa teori untuk menghitung gaya gelombang yang mengenai struktur seperti teori Morrison, difraksi, dan *strip theory*. Meskipun rumus matematik dan teori-teori ini berbeda satu sama lain, semua teori tersebut menghitung hal yang sama yaitu gaya eksitasi, *added mass*, dan *damping* pada struktur sebagai fungsi dari frekuensi dan *heading*. Jika persamaan gerak diselesaikan per satuan amplitudo gelombang, kita akan mendapatkan sejumlah nilai yang dinamakan *Response Amplitudo*

*Operator* atau RAO. RAO adalah fungsi respon yang terjadi akibat gelombang dalam rentang frekuensi yang mengenai sebuah struktur lepas pantai. RAO juga disebut sebagai *Transfer Function* karena RAO merupakan alat untuk mentransfer beban luar (gelombang) dalam bentuk respon pada suatu struktur. RAO dapat juga didefinisikan sebagai hubungan antara amplitudo gerakan struktur terhadap amplitudo gelombang.

RAO gerakan translasi ( *surge, sway, heave*) merupakan perbandingan antara amplitudo gerakan bangunan apung dibanding dengan amplitudo gelombang yang terjadi dan dinyatakan dalam satuan m/m. Bentuk umum persamaan RAO dalam fungsi frekuensi adalah sebagai berikut (Bhattacharyya, 1987):

$$RAO(\omega) = \frac{X_p(\omega)}{\eta(\omega)} \quad (2.2)$$

dimana:

$X_p(\omega)$  = amplitudo struktur

$\eta(\omega)$  = amplitudo gelombang

#### 2.2.5 Respon Struktur pada Gelombang Acak (*Irregular*)

RAO adalah respon struktur terhadap gelombang berautran (*regular*). Karena keadaan gelombang laut yang sebenarnya adalah acak (*irregular*), maka RAO harus dirubah menjadi respon terhadap gelombang acak (*irregular*). Karena pertimbangan tersebut, untuk memprediksi respon struktur pada gelombang acak (*irregular*) diperlukan suatu alat untuk mewakili keacakan gelombang yaitu spektrum gelombang. Spektrum gelombang dipilih berdasarkan kondisi laut dimana struktur beroperasi. Terdapat banyak teori *spectrum* gelombang yang dapat digunakan seperti spectrum Bretschneider, Pierson-Moskowitz, JONSWAP, ITTC, ISSC, dan lain sebagainya.

Untuk memprediksi gerakan kapal akibat gelombang *irregular*, langkah-langkah yang dapat dilakukan adalah (Bhattacharyya, 1998):

1. Memilih spectrum gelombang yang sesuai dengan kriteria kondisi laut dimana kapal berada
2. Mentrasformasi *spectrum* gelombang pada langkah 1 menjadi *spectrum* yang sesuai dengan gerakan kapal. Dalam hal ini, sumbu X (frekuensi



gelombang) dari spectrum gelombang harus diubah menjadi frekuensi papasan (*encountering frequency*). Transformasi ini harus tidak merubah luasan di bawah *spectrum* gelombang dengan kata lain luasan di bawah *spectrum* harus dimodifikasi sama dengan luasan pada *spectrum* gelombang sehingga total energinya sama.

3. Menentukan grafik respon struktur pada gelombang *regular*. Pada grafik ini, sumbu Y-nya adalah amplitudo *motion* (misalnya *pitch*, *roll*, atau *heave*) dan sumbu X-nya adalah frekuensi papasan (*encountering frequency*). Grafik ini bisa didapatkan dengan perhitungan analitis atau dengan percobaan model di *tow tank*.
4. Grafik yang didapat pada langkah 3 dimodifikasi. Sumbu Y-nya mempresentasikan perbandingan amplitudo *motion* kuadrat dibagi amplitudo gelombang kuadrat. Grafik ini dinamakan RAO atau *transfer function*.
5. *Spectrum* amplitudo *motion* didapatkan dengan mendapatkan ordinat dari spectrum gelombang yang ditransformasi dengan ordinat dari grafik RAO untuk masing-masing frekuensi papasan.
6. Langkah akhir, luasan di bawah *spectrum* pada langkah 4 dihitung untuk mendapatkan karakteristik gerakan misalnya amplitudo *motion* rata-rata, rata-rata dari tiga tertinggi (H1/3), rata-rata dari sepuluh tertinggi (H1/10)

Gerakan kapal di atas gelombang acak dapat dilakukan dengan mentransformasikan *spectrum* gelombang menjadi *spectrum* gerakan kapal. Hal ini dapat dilakukan dengan mengalikan harga pangkat dua dari *Response Amplitude Operator* (RAO) dan mode gerakan tertentu dengan ordinat *spectrum* gelombang, pada frekuensi yang sama. Pendekatan yang diusulkan oleh St. Denis & Pierson ini valid bila harga RAO merupakan normalisasi amplitudo gerakan dengan amplitudo gelombang. *Response spectra* gerak kapal merupakan hasil perkalian antara RAO dengan spectrum gelombang. Untuk kapal yang berkecepatan  $u$  maka persamaan spectrum gerakannya (contoh untuk *heave*) adalah:

$$S_{\xi_1} = S_{\xi}(\omega) \left( \frac{\xi_1}{\xi_2} \right)^2 \quad (2.3)$$

Untuk benda/ kapal yang bergerak, frekuensi gelombang yang dialami oleh kapal akan berbeda dengan frekuensi gelombang sebenarnya yang datang. Fenomena ini terjadi karena adanya gerakan relatif dari kapal yang mempunyai kecepatan dengan progresi gelombang. Frekuensi relative ini diistilahkan sebagai frekuensi papasan (*encounter* frekuensi,  $\omega_e$ ). Hubungan antara  $\omega_e$ , kecepatan kapal  $U$  dan frekuensi gelombang insiden,  $\omega$ , arah kapal relative terhadap gelombang,  $\mu$  adalah:

$$\omega_e = \omega \left( 1 - \frac{\omega U}{g} \cos \mu \right) \quad (2.4)$$

Diferensiasi persamaan (3.2) terhadap  $\omega$  dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{d\omega_0}{d\omega} = 1 - \frac{2\omega\omega}{g} \cos \mu \quad (2.5)$$

Sehingga hubungan antara interval frekuensi menjadi:

$$\delta\omega_0 = \left( 1 - \frac{2\omega\omega}{g} \cos \mu \right) \delta\omega \quad (2.6)$$

Dengan mengikuti proses ini, maka spectrum gelombang papasan mempunyai hubungan dengan spectrum gelombang insiden sebagai berikut:

$$S_{\xi}(\omega)\delta\omega = S_{\xi}(\omega_0)\delta\omega_0 \quad (2.7)$$

Atau:

$$S_{\xi}(\omega_0) = \frac{g}{g-2\omega\omega U \cos \mu} S_{\xi} \quad (2.8)$$

Setelah *spectrum* gerakan diperoleh melalui prosedur di atas, maka besaran-besaran seperti amplitudo signifikan gerakan, kecepatan dan percepatan dapat ditentukan dengan menghitung momen spectrum.

Dalam perancangan kapal seringkali di perlukan informasi kondisi ekstrem yang akan terjadi bila kapal berjalan di atas gelombang. Untuk masalah ini, Ochi (1973) telah memperkenalkan formulasi stokastik harga ekstrem. Untuk kapal yang bergerak di atas gelombang yang mempunyai karakteristik tertentu (spektrumnya tetap), maka gerakan terbesar yang paling mungkin terjadi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\bar{\xi}_n = \left[ 2 \ln \frac{(60^2 T)}{2\pi} \sqrt{\frac{m_2}{m_0}} \right]^{\frac{1}{2}} \sqrt{m_0} \quad (2.9)$$

Dimana  $n$  adalah jumlah observasi depresi gerakan. Harga  $n$  dapat dihitung dengan mempertimbangkan lamanya (waktu) kapal di atas gelombang tersebut (misalnya  $T$  jam) yang perumusannya adalah:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (2.10)$$

Gelombang acak mempunyai tinggi, amplitudo, dan periode gelombang yang bervariasi. Rekaman gelombang dapat dianalisa statistik menggunakan metode *zero-upcrossing* ( $T_p$ ) atau *zero-downcrossing* ( $T_z$ ).

## 2.2.6 Beban Angin dan Beban Arus

Beban angin dan arus yang bekerja pada struktur akan dijelaskan pada bagian ini.

### 2.2.6.1 Beban Angin

Beban angin merupakan beban dinamis, tapi beberapa struktur akan meresponnya pada model statis yang paling mendekati. Dalam perancangan bangunan lepas pantai pada umumnya perhitungan beban angin disyaratkan untuk didasarkan pada besarnya kecepatan ekstrem dengan periode ulang 50 atau 100 tahun. Semakin lama periode ulang yang digunakan maka risiko kegagalan semakin besar. Berdasarkan OCIMF (1997), perhitungan beban angin didefinisikan sebagai berikut:

$$F_{xw} = C_{xw} \left( \frac{\rho_w}{7600} \right) V_w^2 A_T \quad (2.11)$$

$$F_{yw} = C_{yw} \left( \frac{\rho_w}{7600} \right) V_w^2 A_T \quad (2.12)$$

dengan,

$F_{xw}$  = gaya angin longitudinal (kN)

$F_{yw}$  = gaya angin lateral (kN)

$C_{xw}$  = koefisien gaya angin longitudinal non dimensional

$C_{yw}$  = koefisien gaya angin transversal non dimensional

$\rho_w$  = massa jenis udara (1.223 kg/m<sup>3</sup>)

$V_w^2$  = kecepatan angin pada ketinggian 10 m (m/s)

$A_T$  = luas penampang transversal di atas air (m<sup>2</sup>)

$A_L$  = luas penampang longitudinal di atas air (m<sup>2</sup>)

Beban angin merupakan beban dinamis, tapi beberapa struktur akan meresponnya pada model statis yang paling mendekati. Dalam perancangan bangunan lepas pantai pada umumnya perhitungan beban angin disyaratkan untuk didasarkan pada besarnya kecepatan ekstrem dengan periode ulang 50 atau 100 tahun. Semakin lama periode ulang yang digunakan maka risiko kegagalan semakin besar.

#### 2.2.6.2 Beban Arus

Selain gelombang, arus laut juga memberikan gaya terhadap struktur bangunan lepas pantai. Arus akibat pasang surut memiliki kecepatan yang semakin berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman sesuai fungsi *non-linear*. Sedangkan arus yang disebabkan oleh angin memiliki karakter yang sama, tetapi dalam fungsi *linier*.

Berdasarkan OCIMF (1997), perhitungan beban arus didefinisikan sebagai berikut:

$$F_{xc} = C_{xc} \left( \frac{\rho_c}{7600} \right) V_c^2 T L_{pp} \quad (2.15)$$

$$F_{yc} = C_{yc} \left( \frac{\rho_c}{7600} \right) V_c^2 T L_{pp} \quad (2.16)$$

dengan,

$F_{xc}$  = gaya arus longitudinal (kN)

$F_{yc}$  = gaya arus lateral (kN)

$C_{xc}$  = koefisien gaya arus longitudinal non dimensional

$C_{yc}$  = koefisien gaya arus transversal non dimensional

$\rho_c$  = massa jenis air laut (kg/m<sup>3</sup>)

$V_c^2$  = kecepatan arus pada kedalaman 10 m (m/s)

$T$  = sarat air kapal (m)

$L_{pp}$  = *length between perpendicular* (m)

#### 2.2.7 Sistem Tambat

Berdasarkan API (2001) dan API (2005), tipe *mooring line* yang digunakan pada *floating structure* dibagi menjadi 3 kategori, yaitu:

1. Semua *mooring line* terbuat dari tali kabel (*wire rope*). *Wire rope* lebih ringan daripada rantai. Karena itu, pada umumnya *wire rope* memiliki

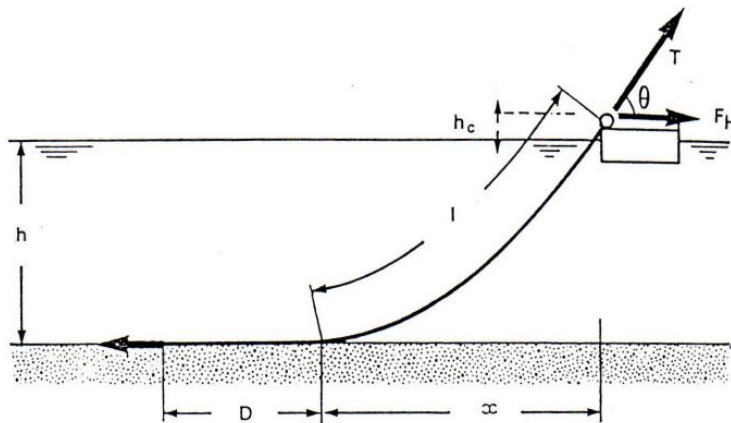
*restoring force* yang lebih di perairan laut dalam dan memerlukan tegangan awal (*pre tension*) yang rendah dari pada rantai. Bagaimanapun juga, untuk menghindari terangkatnya *anchor* dari dasar laut maka diperlukan *wire rope* yang sangat panjang. Rusak yang disebabkan oleh abrasi antara *wire rope* dengan dasar laut yang keras terkadang dapat menjadi suatu masalah. Terlebih lagi *wire rope* memerlukan perawatan yang sangat hati-hati. Korosi yang diakibatkan oleh kurangnya pelumasan atau kerusakan mekanik pada *wire rope* dapat menyebabkan lebih banyak kegagalan.

2. Semua *mooring line* terbuat dari *chain*. Rantai telah menunjukkan keunggulannya pada *offshore operations*. Rantai juga memiliki daya tahan yang lebih terhadap abrasi dasar laut dan memiliki kontribusi terhadap daya cengkram *anchor* yang sangat signifikan.
3. Kombinasi antara *chain* dan *wire rope*. Dengan pemilihan panjang yang tepat dari gabungan antara *wire rope* dan *chain*, maka akan diperoleh system *mooring* yang menguntungkan, yaitu: *pre tension* yang rendah, *restoring force* yang tinggi dan *holding anchor* yang lebih besar dan daya tahan terhadap abrasi dasar laut yang bagus. Hal tersebut membuat sistem ini cocok digunakan pada operasi laut dalam.

#### 2.2.8 Penentuan Panjang Tali Tambat (*mooring line*)

Penentuan panjang tali tambat (*mooring line*) berfungsi untuk menjaga benda apung agar berada pada posisi yang tepat dan juga agar *mooring line* itu sendiri memiliki panjang dan *pre tension* yang sesuai (Faltinsen, 1990), yang juga menggambarkan persamaan untuk mendapatkan panjang tali *line* dan besar *tension* yang direkomendasikan seperti tergambar pada persamaan 2.22. Parameter-parameter yang harus diketahui dalam perancangan suatu *mooring line* terlampir pada Gambar 2.3:

$$\frac{l}{h} = \sqrt{\frac{2F_H}{wh} + 1} = \sqrt{\frac{2T}{wh} + 1} \quad (2.22)$$



**Gambar 2.3** Panjang minimum *mooring line* (Faltinsen, 1990)

dengan

- $l$  = panjang minimum tali tambat (m)
- $h$  = jarak vertikal dari *fairlead* ke *seabed* (m)
- $h_m$  = kedalaman air (m)
- $h_c$  = tinggi *fairlead* di atas permukaan air (m)
- $w$  = berat tali tambat di dalam air per satuan panjang
- $F_H$  = *horizontal pre tension*
- $T$  = *tension* maksimum dari tali tambat (*pre tension*) (kN)
- $D$  = *length resting on the seabed* (panjang tali tambat yang menempel pada *seabed*) (m)

#### 2.2.9 Tegangan pada Tali Tambat

Gerakan pada bangunan apung karena pengaruh beban lingkungan menyebabkan adanya tarikan pada *mooring line*. Tarikan ( *tension* ) yang terjadi pada *mooring line* dapat dibedakan menjadi dua, yaitu

- *Mean tension*, yaitu *tension* pada *mooring line* yang berkaitan dengan *mean offset* pada vessel.
- *Maximum tension*, yaitu *Mean tension* yang mendapat pengaruh dari kombinasi frekuensi gelombang dan *low-frequency tension*.

Menurut Faltinsen (1990), perhitungan *tension* maksimum tali tambat dapat menggunakan persamaan berikut:

$$T_{max} = T_H + wh \quad (2.23)$$

dengan:

$T_{max}$  = *tension* maksimum tali tambat (ton)

$T_H$  = *horizontal pre tension* (ton)

w = berat *chain* di air (ton/m)

h = kedalaman perairan (m)

Untuk mengetahui apakah desain sistem tambat pada suatu struktur telah memenuhi batas aman atau tidak, maka harus dilakukan pengecekan terlebih dahulu. Pengecekan tersebut salah satunya didasarkan pada nilai *tension* yang dihasilkan oleh masing-masing tali tambat. Nilai *tension* pada tali tambat harus sesuai dengan kriteria/batasan yang memenuhi *safety factor*. Kriteria *safety factor* tersebut berdasar pada suatu *rule*. Dan yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah mengacu pada *rule* API (2005), yakni sebagai berikut

Dengan persamaan *safety factor* menurut API (2005) adalah:

$$safety\ factor = \frac{\text{Minimum breaking load}}{\text{Maximum tension}} \quad (2.24)$$

**Tabel 2.2** *Safety factor* kondisi intact dan damage

Kondisi	<i>Safety Factor</i>
<i>Intact</i>	> 1.67
<i>Damage</i>	> 1.25

#### 2.2.10 Tali Tambat Antar Kapal

Tali tambat antar kapal pada konfigurasi *side by side* umumnya menggunakan *fibre mooring lines*. Berdasarkan OCIMF (1997), *fibre mooring lines* terbuat dari bahan sintetis dan material yang umum digunakan adalah *polyester*, *nylon*, *polypropylene* dan *polyethylene*. *Safety factor* tegangan tali tambat kapal bernilai 2.2 untuk material *nylon* dan 2 untuk material sintetis lainnya.

#### 2.2.11 Operabilitas

Operabilitas merupakan kemampuan untuk bekerja di suatu kondisi lingkungan dengan membandingkan waktu kerja dengan total waktu dan

merupakan peluang bahwa pekerjaan dapat diselesaikan (*limited condition*). Pengukuran ini merupakan pengukuran produktivitas sistem *offshore* dengan hanya melihat cuaca sehingga bisa dilakukan perbandingan dengan sistem yang berbeda. Menurut Djatmiko (2012), langkah paling awal dalam melakukan evaluasi operabilitas adalah menetapkan skenario pengoperasian bangunan laut. Skenario harus memuat semua faktor yang akan terkait, baik secara langsung maupun tidak langsung. Berikut merupakan kriteria operabilitas yang digunakan pada saat *offloading* dan *connecting*.

$$\text{Operabilitas} = \frac{Na}{Na+Nd} \times 100\% \quad (2.25)$$

dimana:

Na = Jumlah kejadian di bawah syarat batas

WOW = Jumlah kejadian melebihi syarat batas

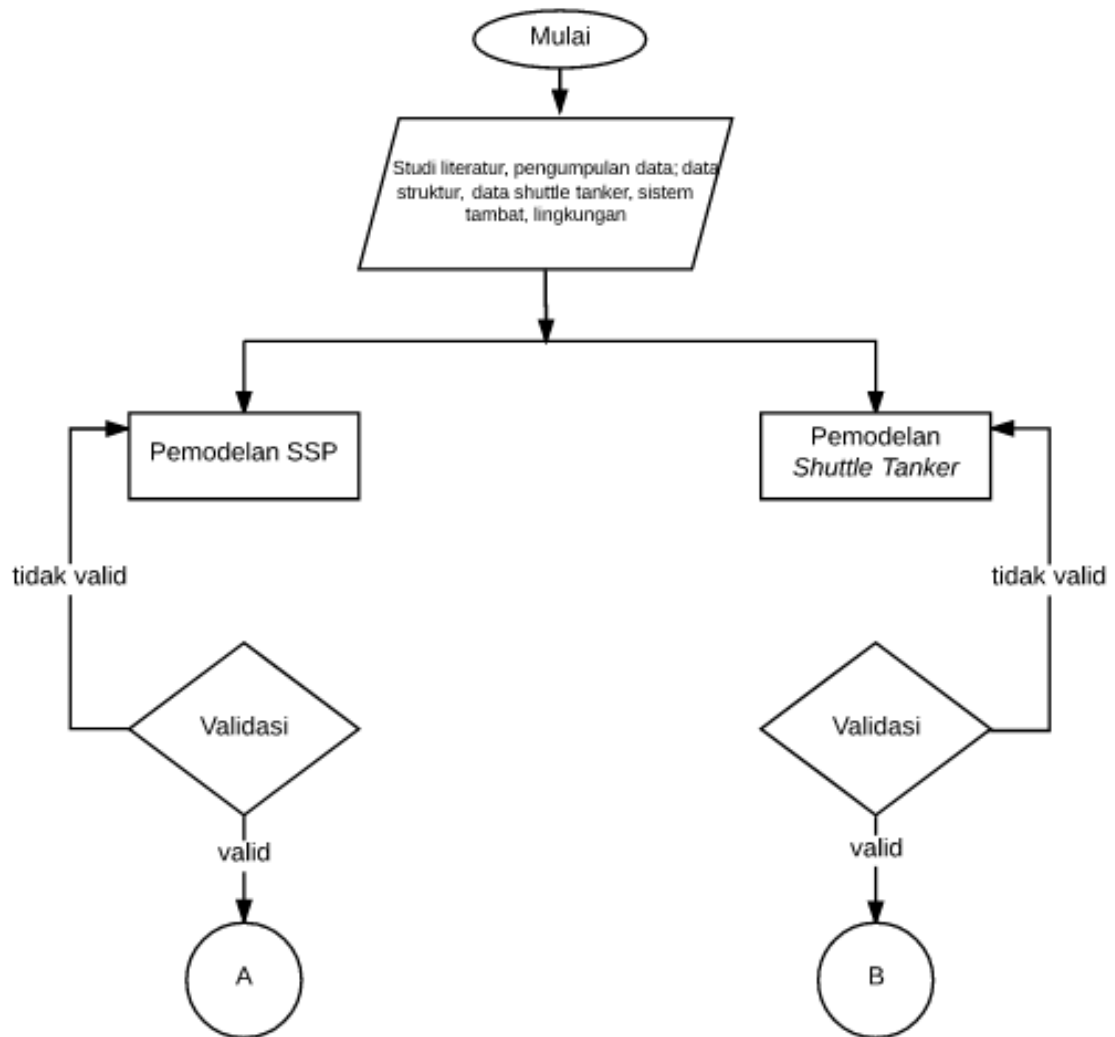
Karakteristik operabilitas dapat dilihat dengan membandingkan harga-harga dalam grafik yang menghubungkan harga stokastik gerakan dan tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) dengan kriteria *seakeeping* yang telah ditetapkan. Pertimbangan kriteria harus dilakukan secara inklusif, artinya untuk suatu mode kerja bila mana satu saja kriteria terlampaui maka pada tahap tersebutlah batasan operasi ditetapkan.

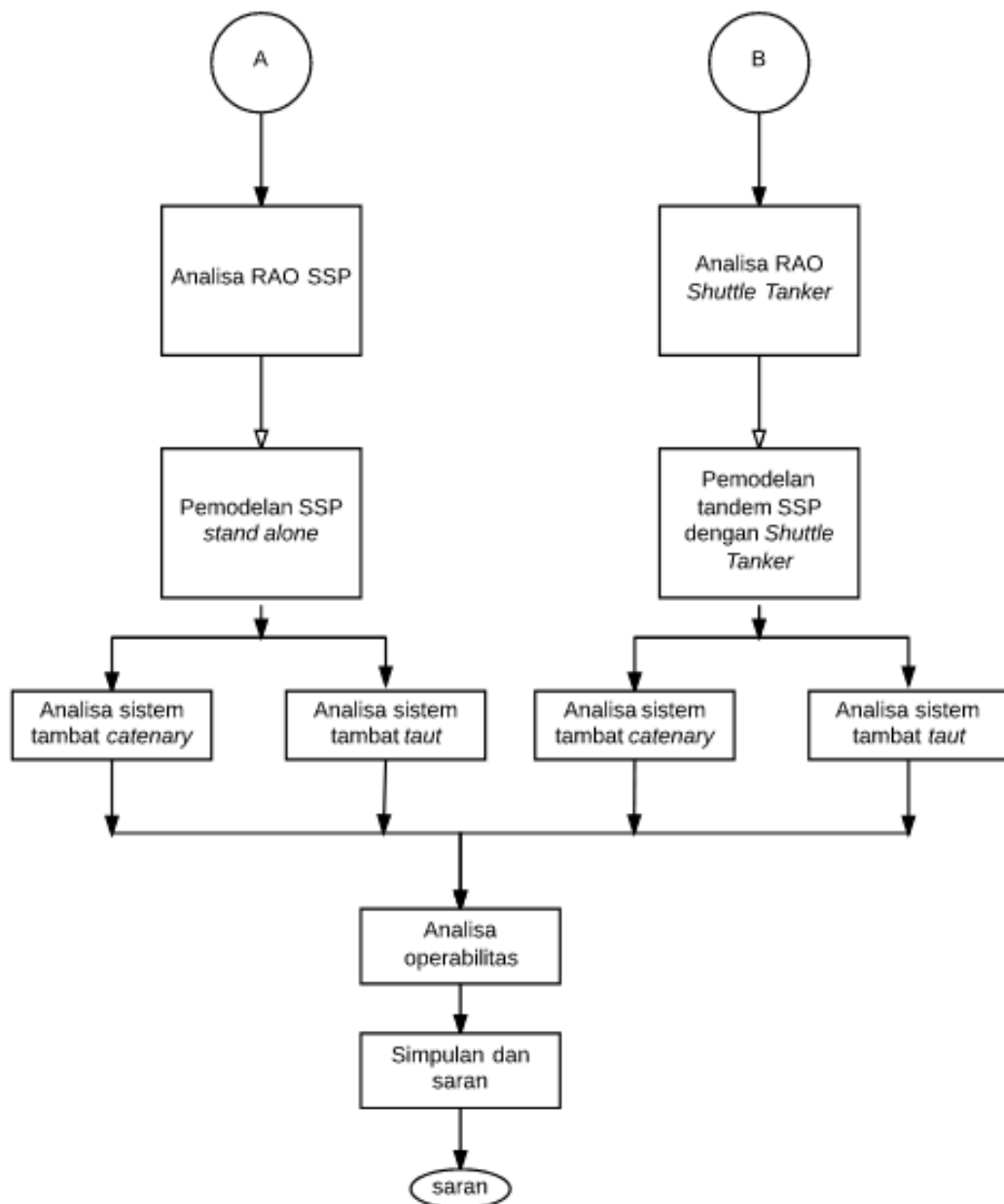


## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 LANGKAH KERJA

Langkah kerja penelitian yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir (*flow chart*) berikut (Gambar 3.1):





**Gambar 3.1** Diagram alir langkah kerja penelitian

Berdasarkan *API* (2001) dan *API* (2005), tipe *mooring line* yang digunakan pada *floating structure* dibagi menjadi 3 kategori, yaitu:

1. Studi literatur dan pengumpulan data. Studi literatur dilakukan dengan mempelajari berbagai bahan acuan seperti jurnal, buku, dan referensi lain seperti artikel di internet. Studi literatur bertujuan untuk membantu memahami dan menguraikan permasalahan dalam penelitian ini.

Pengumpulan data dilakukan dengan mengumpulkan penelitian-penelitian terkait yang sudah dilakukan di waktu sebelumnya.

2. Pemodelan SSP dan *Shuttle Tanker*. Pemodelan struktur dilakukan berdasarkan data-data yang telah dikumpulkan. Pemodelan dilakukan pada *software Maxsurf*
3. Validasi. Validasi dilakukan untuk memastikan apakah model yang dibuat sudah valid dengan data yang tersedia. Nilai toleransi validasi mengacu kepada *ABS Rules for Building and Classing MODU* (2012).
4. RAO SSP dan RAO *Shuttle Tanker*. Model yang telah valid kemudian di *run* untuk mendapatkan karakteristik gerakanya atau disebut pula dengan RAO. RAO ini pula yang akan dijadikan masukan dalam langkah analisis selanjutnya.
5. Pemodelan SSP tertambat. Pemodelan ini menggambarkan SSP dalam kondisi tertambat. Masukan pemodelan adalah hasil dari analisis hidrodinamik objek pada kondisi terapung bebas.
6. Perhitungan *tension* dan respon gerak struktur SSP pada kondisi tertambat *stand alone*. Analisis pada tahap ini dilakukan untuk mendapatkan besar *tension* tali tambat dan juga respon gerak SSP. Analisis dilakukan dengan arah pembebanan  $90^\circ$ ,  $210^\circ$ , dan  $330^\circ$  dengan konfigurasi *mooring Catenary* dan *Taut*.
7. Pemodelan tandem *offloading* antara SSP dan *Shuttle Tanker*. Pemodelan ini menggambarkan SSP dalam kondisi *tandem offloading* dengan *Shuttle Tanker*. Masukan pemodelan adalah hasil dari analisis hidrodinamik objek pada kondisi tertambat tunggal dengan konfigurasi *mooring Catenary* dan *Taut*.
8. Perhitungan *tension* dan respon gerak struktur SSP pada saat proses *tandem offloading* dengan *Shuttle Tanker*. Analisis pada tahap ini dilakukan untuk mendapatkan *tension* tali tambat dan juga respon SSP pada saat kondisi *tandem offloading* dengan *Shuttle Tanker*. Analisis dilakukan dengan arah pembebanan  $90^\circ$ ,  $210^\circ$ , dan  $330^\circ$
9. Analisis nilai operabilitas SSP berdasarkan Perhitungan

nilai operabilitas juga meninjau aspek lingkungan dengan melihat data sebaran gelombang.

## 10. Simpulan dan saran.

### 3.2 PENGUMPULAN DATA

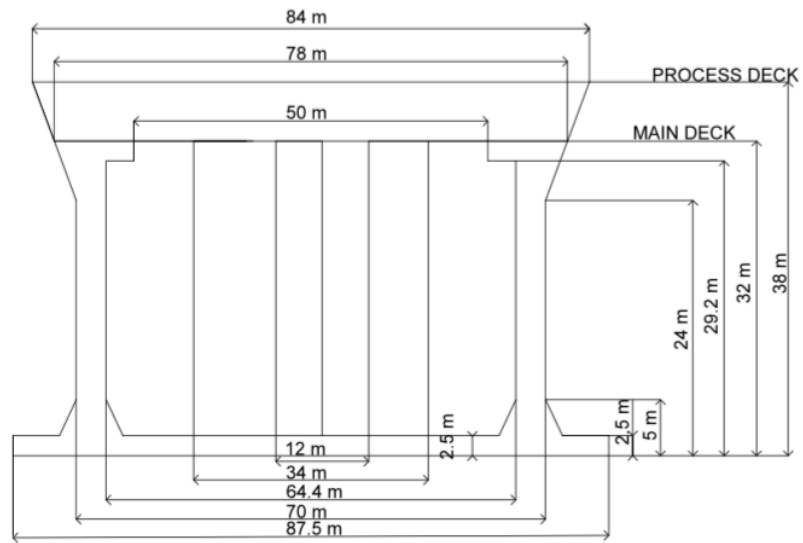
Pengumpulan data yang valid harus dilakukan sebelum melakukan pemodelan sebagai langkah awal dalam penelitian. Berikut terlampir data-data yang dibutuhkan dalam penelitian tugas akhir ini:

#### 3.2.1 Data Sevan S400

Berikut diberikan data struktur Sevan S400 pada Tabel 3.1 dan Gambar 3.2 yang digunakan sebagai FPSO berlambung silinder dalam penelitian ini

**Tabel 3.1** *Principal Dimension Sevan S400 (Sevan Marine, 2011)*

Parameter	Satuan	Dimensi
Diameter <i>main hull cylinder</i>	m	70
Diameter <i>main deck</i>	m	78
Diameter <i>process deck</i>	m	84
Area <i>process deck</i>	m <sup>2</sup>	5675
Diameter <i>pontoon</i>	m	87.5
Elevasi <i>main deck</i>	m	2.5/5.0
Elevasi <i>process deck</i>	m	32
Elevasi <i>start flare</i>	m	38
Radius girasi <i>roll</i>	m	24
Radius girasi <i>pitch</i>	m	22.3
Radius girasi <i>yaw</i>	m	32
Sarat	m	20.72
<i>Displacement</i>	m <sup>3</sup>	87900
<i>Free board ke main deck</i>	M	11.3
<i>Free board ke process deck</i>	m	16.3
VCG	m	18.23
CM		5.14



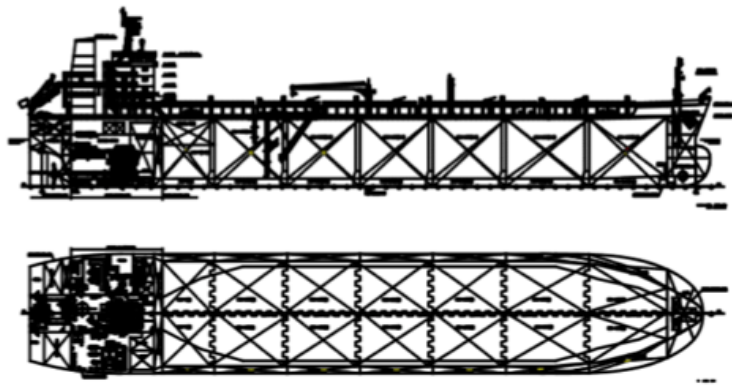
**Gambar 3.2** Principal dimension struktur SSP

### 3.2.2 Data *Shuttle Tanker*

Berikut diberikan data struktur *Shuttle Tanker* pada Tabel 3.2 dan General Arrangement struktur pada Gambar 3.3 yang akan digunakan sebagai objek dalam penelitian ini:

**Tabel 3.2** Principal dimension *Shuttle Tanker*

Deadweight	=	160000	DWT
Lpp	=	268	m
Breadth	=	49	m
Depth	=	23	m
Draught	=	16	m
Lwl	=	275.06	m
LOA	=	278	m
Perhitungan Lightweight			
Lightweight	=	25472.51	ton
Displacement	=	185472.51	ton



**Gambar 3.3** *General Arrangement Shuttle Tanker* (Tanker Shipping, 2014)

### 3.2.3 Data *Mooring Line Properties* pada Sevan S400

Berikut data *mooring line* pada Sevan S400 yang akan digunakan dalam penelitian ini:

**Tabel 3.3** *Mooring line properties* Sevan S400

Segmen	Diameter (mm)	Minimum Breaking Load (kN)	Modulus Elastisitas (kN/m <sup>2</sup> )	Berat di Udara (kN/m)
Lower Chain	178	21027	6.218	$0.46 \times 10^8$
Polyester Rope	290	14336	500	$1 \times 10^8$
Upper chain	178	21027	6.218	$0.46 \times 10^8$

### 3.2.4 Data Tali Tambat Kapal

Berikut data tali tambat kapal yang akan digunakan dalam penelitian ini:

**Tabel 3.4** *Poperties* tali tambat kapal

No	Data	
1	<i>Type of Rope</i>	Synthetic Rope
2	<i>Material of Rope</i>	Polyester
3	Nominal Rope Diameter	104 mm
4	Minimum Breaking Strength (MBS)	2090 kN
5	Length	250 m
6	Mass	8.25 kg/m
7	Design <i>Mooring Force</i>	400 ton

### 3.2.5 Data Lingkungan

Pada Tabel 3.6 hingga Tabel 3.7 diberikan data lingkungan dari lokasi yang akan dipakai sebagai lokasi analisis dalam penelitian ini. Penelitian ini dilakukan dengan memakai data dari Blok Masela (09° 07' 51" S / 130° 28' 00" E). Data lingkungan meliputi data gelombang, data angin, dan data arus.

**Tabel 3.5** Data sebaran gelombang Blok Masela (Fugro, 2012)

		Hs (m)					Total
		0.1-1	1.1-2	2.1-3	3.1-4	4.1-5	
Tp (s)	0.1 - 2	0	0	0	0	0	0
	2.1-4	0.58	0	0	0	0	0.58
	4.1-6	9.51	4.43	0	0	0	13.94
	6.1-8	5.12	6.9	4.74	0.03	0	16.79
	8.1-10	8.2	3.5	5.6	0.78	0.04	18.12
	10.1-12	10.8	20.8	0.15	0.01	0.01	31.77
	12.1-14	9.3	2.68	0.02	0	0	12
	14.1-16	2.93	2.46	0.04	0	0	5.43
	16.1-18	0.42	0.77	0.03	0	0	1.22
	18.1-20	0.05	0.096	0	0	0	0.146
Total		46.91	41.436	10.58	0.82	0.05	100
kumulatif		46.9	88.5	99.1	99.9	100	

**Tabel 3.6** Data periode yang digunakan pada penelitian

Hs	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5
Ts	11	11	9	9	9
$\gamma$	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5

**Tabel 3.7** Data angin dan arus Blok Masela (Madfreeza, 2010)

Parameter	Kecepatan (m/s)
Angin	16.91
Arus	0.5

### 3.3 SKENARIO PENELITIAN

Skenario analisis yang dilakukan dalam penelitian ini terdiri dari dua kondisi utama meliputi kondisi *stand alone* SSP dan kondisi *tandem offloading* SSP dengan *Shuttle Tanker*. Analisis dilakukan dari tiga *heading* yang berbeda meliputi 90°, 210°, dan 330° dengan konfigurasi *mooring Catenary* dan *Taut*. Lebih lanjut, analisis dilanjutkan dengan menambahkan variasi tingi gelombang

signifikan dengan data sebaran gelombang yang ada dengan tujuan untuk mencari nilai operabilitas FPSO berlambung silinder Sevan di lokasi Blok Masel



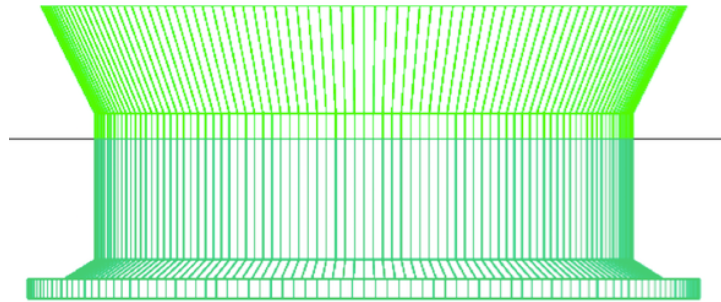
## BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### 4.1 STRUKTUR DAN VALIDASI

Langkah awal dalam penelitian ini adalah melakukan pemodelan pada kedua struktur. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* Maxsurf. Tujuan dilakukannya pemodelan ini adalah untuk mendapatkan karakteristik hidrostatis pada kapal yang selanjutnya akan dipakai untuk melanjutkan pemodelan sistem tambat dan penelitian *tension* dan respon gerak pada *software* Orcaflex.

#### 4.1.1 Pemodelan dan Validasi Struktur SSP

Pemodelan struktur SSP dilakukan pada *software* maxsurf (Gambar 4.1), dimana tahap pertama adalah memasukkan data-data struktur seperti beban lingkungan di sekitar struktur beroperasi, diameter-diameter, *displacement*, sarat air pada badan struktur, yang kemudian outputannya akan dihasilkan *Response Amplitude Operator* (RAO).



**Gambar 4.1** Model SSP tampak depan

Validasi pemodelan SSP dilakukan terhadap data asli berdasarkan ABS *Rules for Building and Classing* MODU 2012. Validasi dilakukan untuk memastikan bahwa model yang sudah dibuat sesuai dengan kondisi nyata di lapangan. Hasil validasi pemodelan SSP dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Aspek yang ditinjau dalam validasi meliputi beberapa aspek hidrostatis struktur yakni *displacement*, *displacement volume*, luas bidang garis air (WPA),

jarak antara titik *keel* ke titik *metacenter* baik secara transversal (KMT) maupun longitudinal (KML), jari-jari *metacenter* transversal (BMT) dan longitudinal (BML), tinggi *metacenter* transversal (GMT) dan longitudinal (GML), serta titik apung objek yang dalam hal ini hanya ditinjau pada sumbu Z (VCB) saja dikarenakan nilai titik apung pada sumbu X (LCB) dan sumbu Y (TCB) bernilai 0. Adapun validasi pemodelan SSP dapat dilihat pada Tabel 4.1

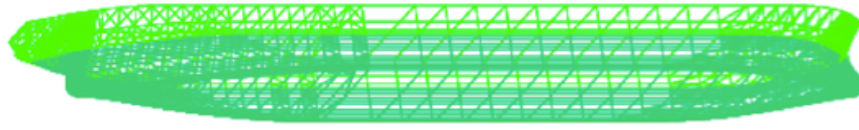
**Tabel 4.1** Validasi pemodelan SSP

	Satuan	Moses	Data	Selisih (%)
Displacement	ton	88404.88	87900	0.57
Displacement volume	m <sup>3</sup>	86248.66341	85756.09	0.57
WPA	m <sup>2</sup>	3847.65	3840	0.2
KMT	m	23.35	23.34	0.04
KML	m	23.35	23.34	0.04
BMT	m	13.67	13.61	0.44
BML	m	13.67	13.61	0.44
VCB	m	9.69	9.73	0.41
GMT	m	5.11	5.14	0.58
GML	m	5.11	5.14	0.58

Hasil validasi menunjukkan bahwa model SSP yang dibuat telah valid. Hal ini dibuktikan dengan persentase selisih antara nilai dari hasil pemodelan dan nilai dari data asli tidak melampaui nilai batas kriteria selisih.

#### 4.1.2 Pemodelan dan Validasi Struktur *Shuttle Tanker*

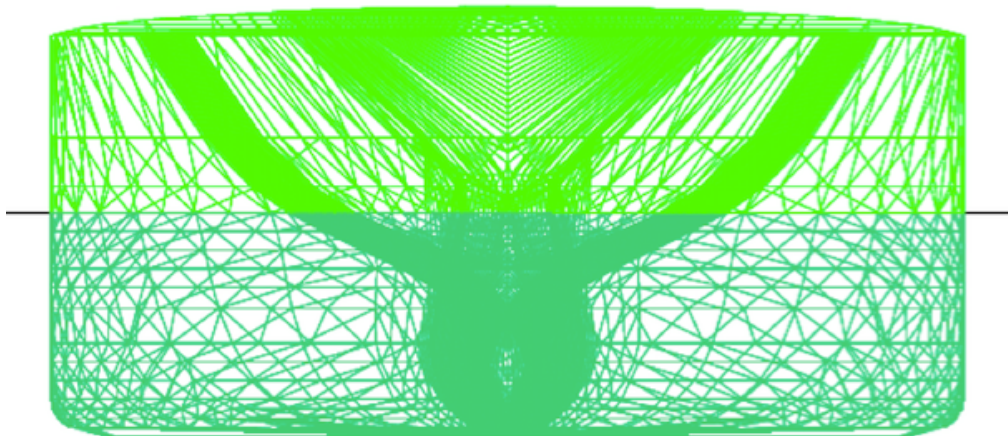
Sama dengan struktur SSP, *Shuttle Tanker* juga harus dimodelkan terlebih dahulu untuk mendapatkan karakteristik hidrostatis yang akan digunakan untuk melakukan pemodelan sistem tambat pada kapal dan analisa respon gerak dan *tension* pada *mooring line*. Pemodelan struktur dilakukan pada software maxsurf yang diawali dengan memasukkan parameter-parameter kapal (lebar, tinggi, sarat air, *displacement* pada 3 kondisi muatan kapal) dan koordinat-koordinat *station* kapal. Berikut ini diberikan hasil pemodelan dari *Shuttle Tanker* (Gambar 4.2- Gambar 4.4).



**Gambar 4.2** Model shuttle tanker tampak longitudinal



**Gambar 4.4** Model Shuttle Tanker tampak samping



**Gambar 4.4** Model Shuttle Tanker tampak haluan

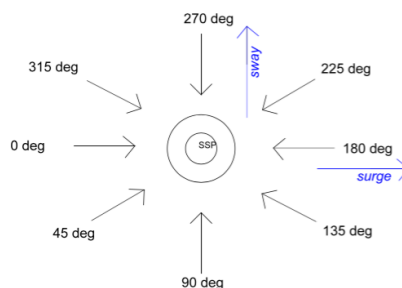
Validasi *Shuttle Tanker* dilakukan terhadap data hidrostatik hasil pemodelan oftware Maxsurf berdasarkan ABS Rules for Building and Classing MODU 2012. Hasil validasi *Shuttle Tanker* dapat dilihat pada Tabel 4.2:

**Tabel 4.2** Validasi pemodelan *Shuttle Tanker*

Aspek	Data	Hasil Hidrostatik Moses	Satuan	Selisih (%)
Displacement	184710.33	181291	t	1.89
Block coeff. (Cb)	0.84	0.82		2.44
Max Sect. area coeff. (Cm)	1	1		0.00
Cp	0.84	0.83		1.20
KB	8.29	8.3	m	0.12
BMt	12.29	12.65	m	2.85
BML	346.32	364.04	m	4.87

## 4.2 KARAKTERISTIK GERAK STRUKTUR PADA KONDISI TERAPUNG BEBAS

Tahap setelah melakukan pemodelan dan validasi adalah mencari karakteristik struktur. Karakteristik struktur dicari pada skenario kedua struktur terapung bebas. Karakteristik struktur ini adalah *Response Amplitude Operator* yang mana merupakan respon struktur terhadap gelombang yang mengenainya, seperti telah dijelaskan pada bab 3. Analisis perilaku gerak SSP pada gelombang regular dilakukan dengan menggunakan *software Maxsurf* dengan arah pembebanan yang ditinjau  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ , dan  $180^\circ$  yang dijabarkan dalam enam derajat kebebasan (*six degree of freedom*), *surge*, *sway*, *heave*, *roll*, *pitch*, dan *yaw*. Sumbu X pada grafik yang terlampir di bawah merupakan fungsi *wave frequency*, dan sumbu Y berupa RAO. Pada grafik-grafik terlampir, penulis menetapkan acuan sumbu X,Y,Z sebagai arah gerak struktur yang dapat dilihat pada Gambar 4.5:



**Gambar 4.5** Keterangan arah propagasi gelombang dan gerak struktur

#### 4.2.1 Karakteristik Gerak Struktur SSP pada Kondisi Terapung Bebas

Karakteristik SSP ditinjau dalam 2 kondisi muatan seperti skenario analisis, yaitu kondisi muatan *full load* dan kondisi muatan *ballast load*.

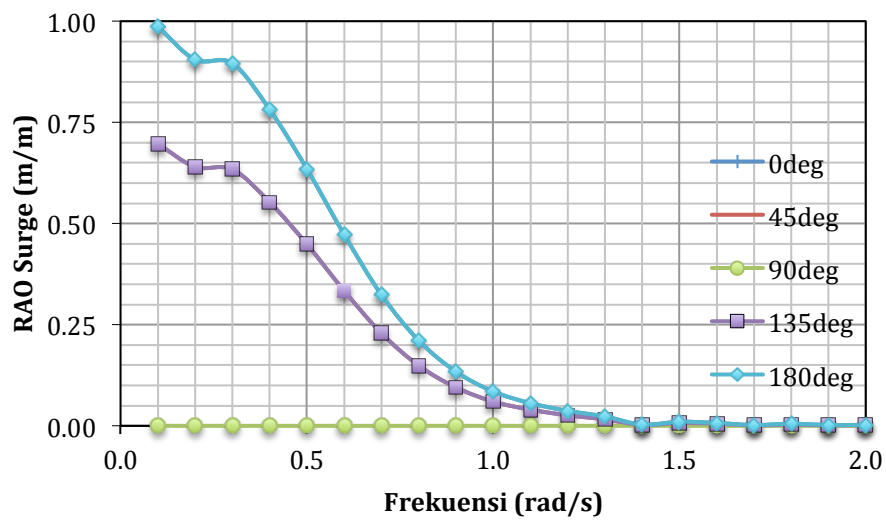
##### 4.2.1.1 Karakteristik Gerak Struktur SSP Kondisi *Full Load*

Karakteristik struktur dilihat berdasarkan variasi kondisi muatan struktur. Pada point ini terlampir SSP pada kondisi *full load* (Tabel 4.3):

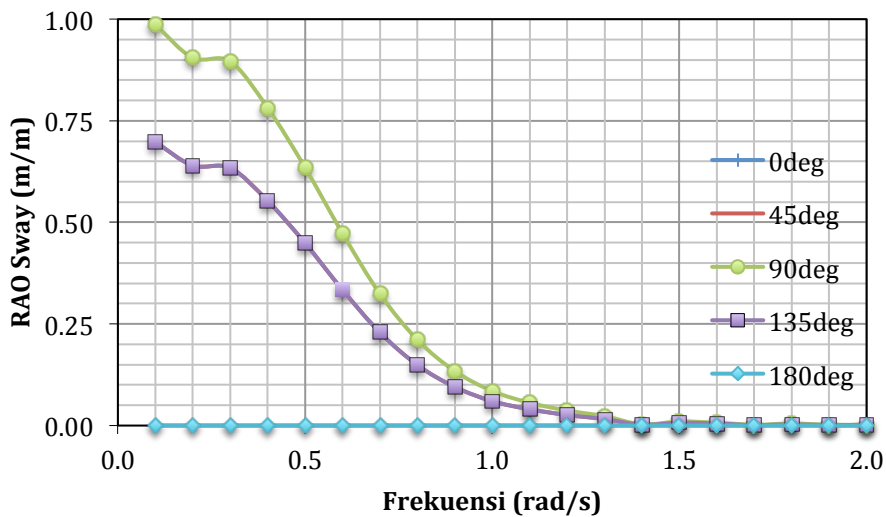
**Tabel 4.3** Nilai maximum RAO SSP kondisi *Full Load*

Moda gerak	Heading				
	0°	45°	90°	135°	180°
<i>surge</i> (m/m)	0.986	0.697	0.000	0.697	0.986
<i>sway</i> (m/m)	0.000	0.697	0.986	0.697	0.000
<i>heave</i> (m/m)	4.547	4.547	4.547	4.547	4.547
<i>roll</i> (deg/m)	0.000	1.136	1.376	1.136	0.000
<i>pitch</i> (deg/m)	1.376	1.136	0.000	1.136	1.376
<i>yaw</i> (deg/m)	0.026	0.024	0.028	0.030	0.026

Gerakan *surge* merupakan salah satu pola gerakan horizontal bangunan apung. Seperti yang ditampilkan di Gambar 4.5 bahwa karakteristik gerakan *surge* didominasi oleh gelombang buritan (arah 0°) dan haluan (arah 180°). SSP memiliki karakteristik gerak yang serupa antara moda gerak *surge* dengan *sway*, dimana nilai maksimum terjadi pada frekuensi rendah. Kesamaan karakteristik gerak juga ditemui pada moda gerak *roll* dan *pitch*. Gerakan *sway* secara teoritis tidak akan terjadi pada gelombang buritan atau haluan. Nilai amplitudo tertinggi pada *surge* adalah 0.986 pada arah pembebanan 0° dan 180° dan 0.986 m/m untuk arah pembebanan 90° pada moda gerak *sway*. Pada arah pembebanan 45° dan 135° keduanya memiliki amplitudo yang sama yaitu sebesar 0.697 m/m. RAO bernilai 0 untuk arah pembebanan 90° pada moda gerak *surge* dan 0° dan 180° untuk moda gerak *sway*. Karakteristik gerak SSP pada muatan *full load* dapat dilihat pada gambar 4.6 hingga 4.11

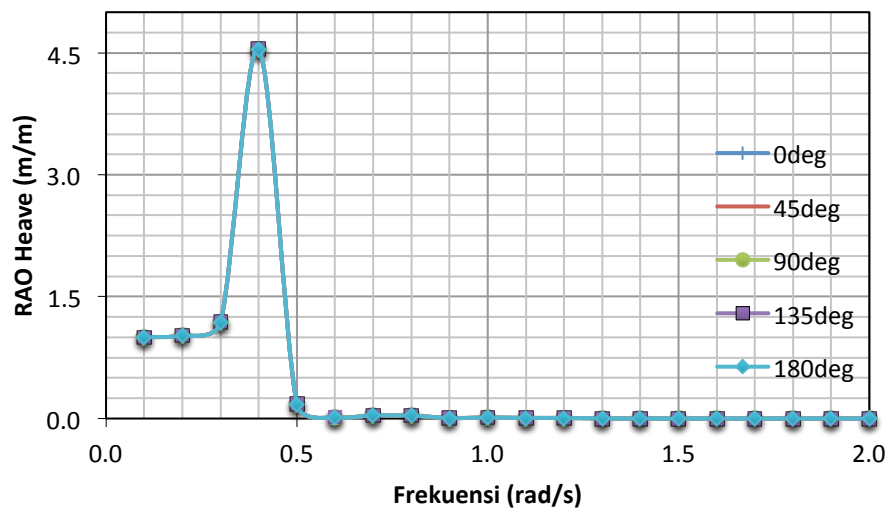


**Gambar 4.6** RAO surge pada SSP kondisi *Full Load*

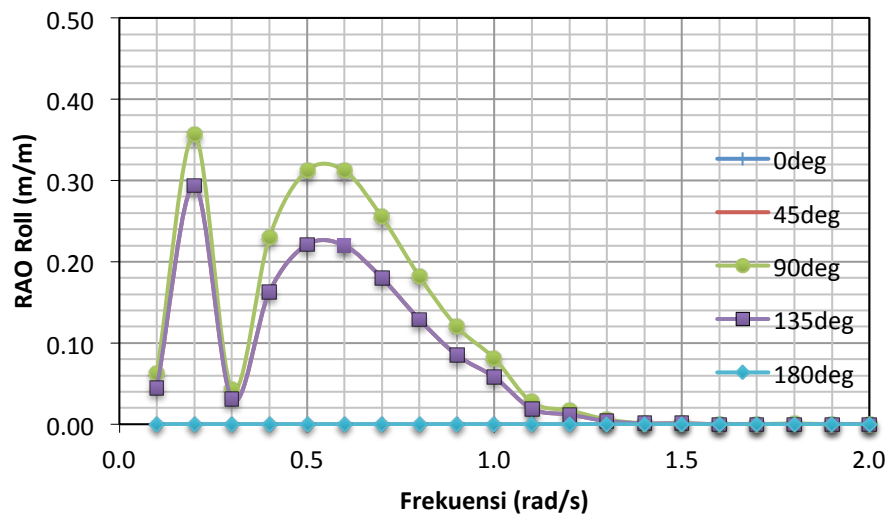


**Gambar 4.7** RAO sway pada SSP kondisi *Full Load*

Gerakan *heave* merupakan salah satu pola gerakan vertikal bangunan apung. Karena bentuk dasar benda yang berbentuk silinder, maka amplitudo bernilai sama untuk semua arah pembebanan pada moda gerak *heave*, yaitu sebesar 4.547 m/m untuk amplitudo maksimumnya.

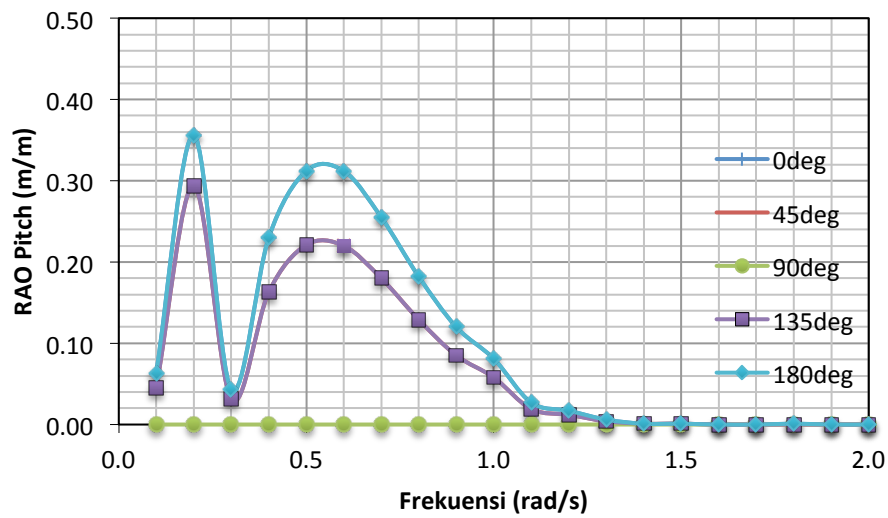


**Gambar 4.8** RAO *heave* pada SSP kondisi *Full Load*

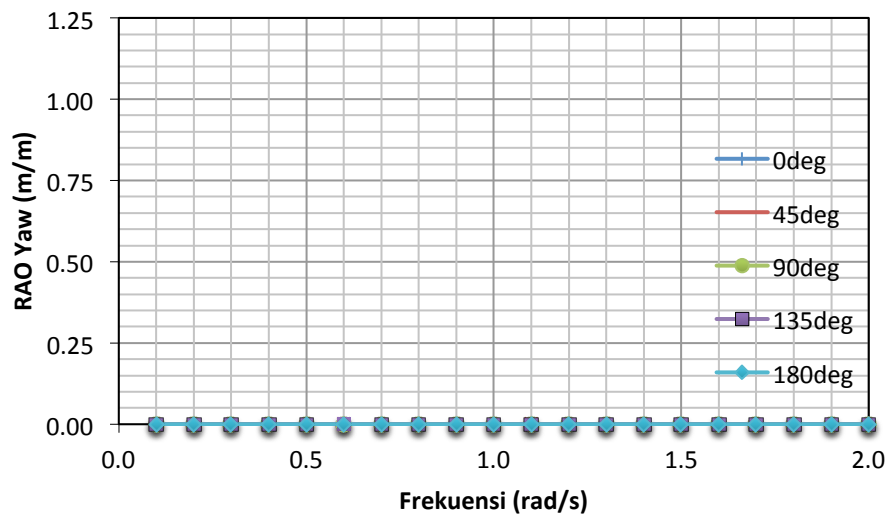


**Gambar 4.9** RAO *roll* pada SSP kondisi *Full Load*

Pada moda gerak *roll* dan *pitch* amplitudo tertinggi yang terjadi bernilai 1.376 deg/m pada arah pembebanan 90° untuk moda gerak *roll* dan 0° dan 180° untuk moda gerak *pitch*. Amplitudo bernilai 0 deg/m pada arah pembebanan 0° untuk moda gerak *roll* dan 180° untuk moda gerak *pitch*.



**Gambar 4.10** RAO *pitch* pada SSP kondisi *Full Load*



**Gambar 4.11** RAO *yaw* pada SSP kondisi *Full Load*

Nilai RAO pada moda gerak *yaw* memiliki karakteristik gerak mendekati 0 deg/m pada setiap sudut.

#### 4.1.2.2 Karakteristik Gerak Struktur SSP Kondisi *Ballast*

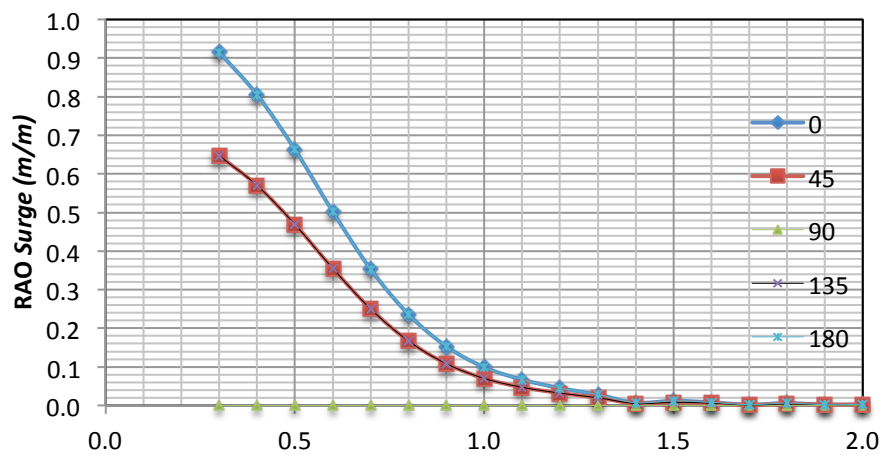
Pada poin ini terlampir SSP pada kondisi *ballast load*. Sama seperti point 4.2.1.1, karakteristik SSP pada point ini dipantau pada saat struktur terapung bebas dan dapat dilihat pada Tabel 4.4.



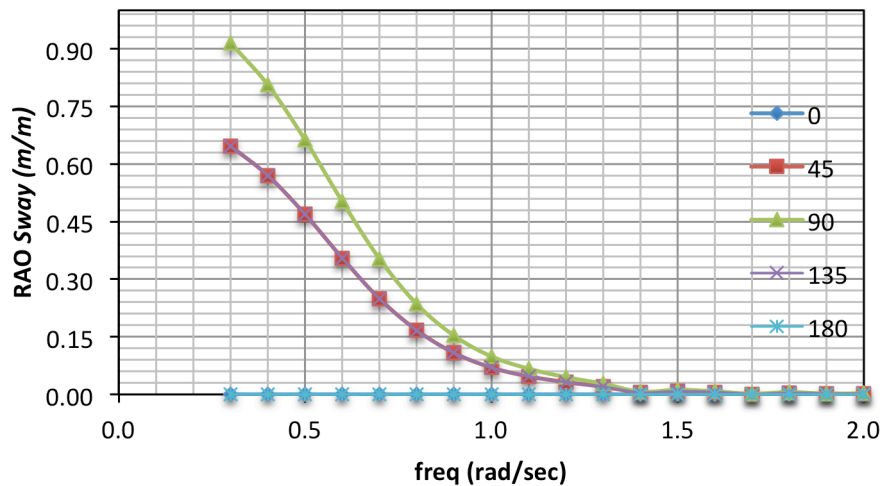
**Tabel 4.4** Karakteristik gerak struktur SSP kondisi *ballast*

	<i>Heading</i>				
Moda gerak	0°	45°	90°	135°	180°
<i>surge</i> (m/m)	0.915	0.647	0.000	0.647	0.915
<i>sway</i> (m/m)	0.000	0.647	0.915	0.647	0.000
<i>heave</i> (m/m)	3.687	3.687	3.687	3.687	3.687
<i>roll</i> (deg/m)	0.000	0.297	0.420	0.297	0.000
<i>pitch</i> deg/m)	0.420	0.297	0.000	0.297	0.420
<i>yaw</i> (deg/m)	0.000	1.268	0.052	1.268	0.000

Grafik-grafik nilai tertinggi pada gerak *surge* adalah pada kondisi pembebanan 0° dan 180° yaitu senilai 0.915, dan terendah adalah 0 pada arah pembebanan 90°. Kemudian pada moda gerak *sway*, nilai terbesar berada pada arah pembebanan 90° yaitu sebesar 0.915 dan terendah pada arah pembebanan 0° dan 180° yaitu sebesar 0. Karakteristik gerak SSP pada muatan *ballast load* dapat dilihat pada gambar 4.12 hingga 4.17:

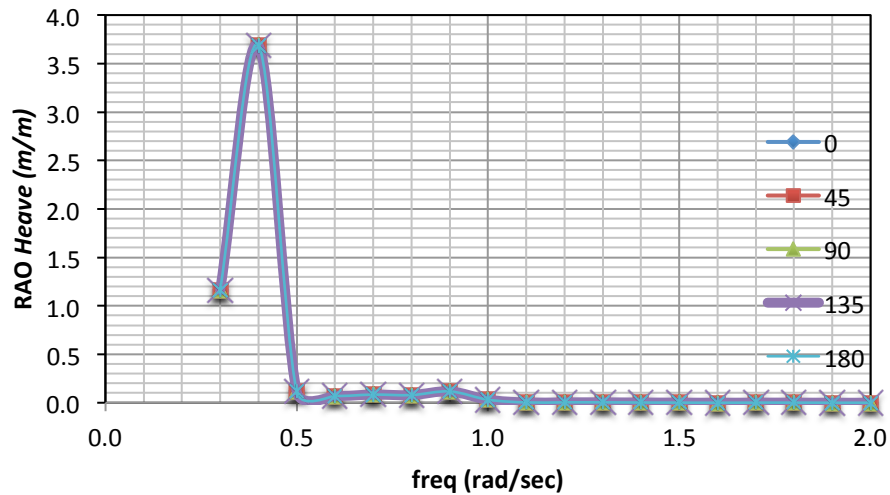


**Gambar 4.12** RAO *surge* pada SSP kondisi *ballast*

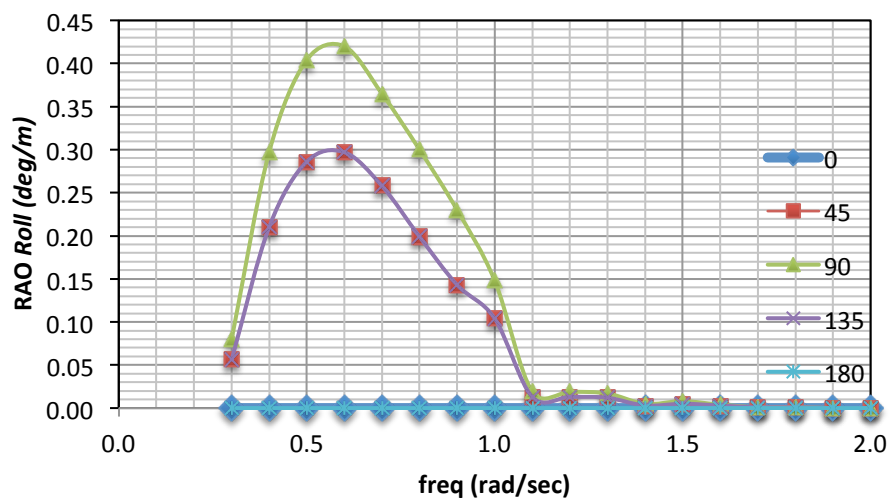


**Gambar 4.13** RAO *sway* pada SSP kondisi *ballast*

Pada moda gerak *heave*, RAO bernilai sama untuk setiap arah *heading*, yaitu sebesar 3.687. Pada moda gerak *roll*, nilai tertinggi bernilai 0.42 pada arah pembebanan  $90^\circ$  dan terendah senilai 0 yang berada pada 2 arah pembebanan yaitu  $0^\circ$  dan  $180^\circ$ .

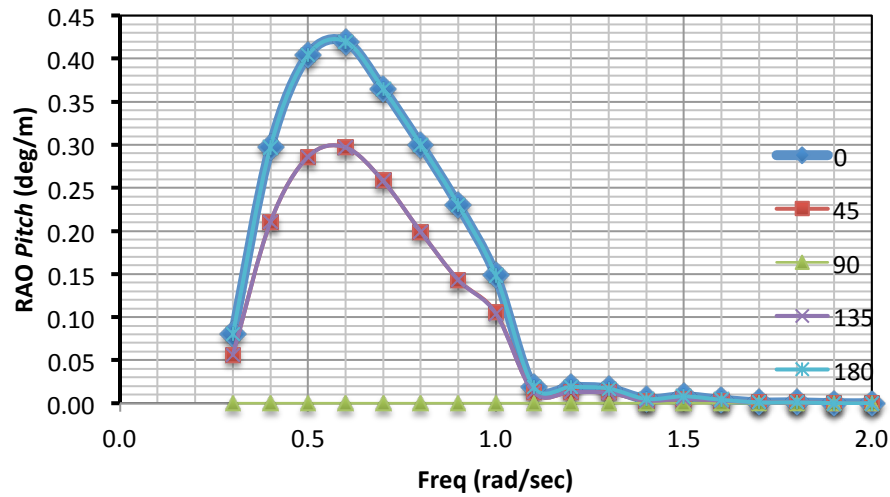


**Gambar 4.14** RAO *heave* pada SSP kondisi *ballast*

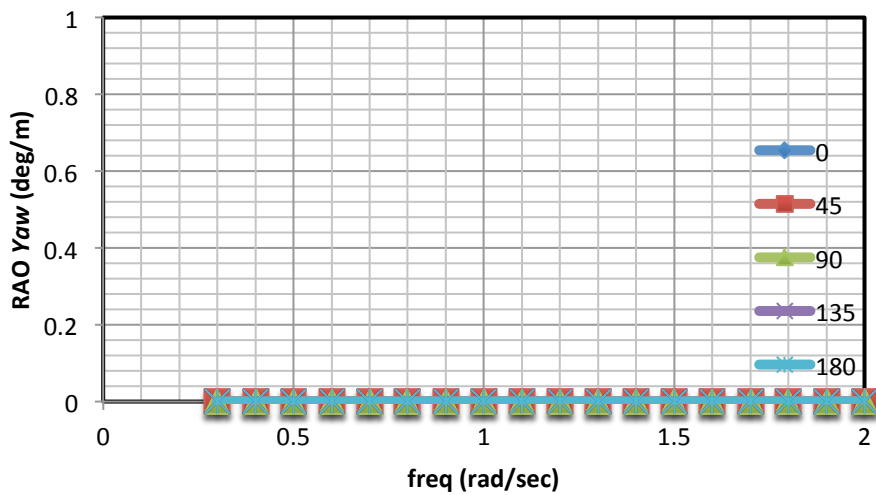


**Gambar 4.15** RAO *roll* pada SSP kondisi *ballast*

Pada moda gerak *pitch*, nilai RAO terbesar berada pada arah pembebanan  $0^\circ$  dan  $180^\circ$  yaitu sebesar 0.42 dan terendah bernilai 0 yang terletak pada arah pembebanan  $90^\circ$ . Pada moda gerak *yaw*, RAO bernilai sama untuk segala arah pembebanan yaitu 0.



**Gambar 4.16** RAO *pitch* pada SSP kondisi *ballast load*



**Gambar 4.17** RAO *yaw* pada SSP kondisi *ballast load*

#### 4.2.2 Karakteristik Gerak Struktur *Shuttle Tanker* pada Kondisi Terapung Bebas

Karakteristik *Shuttle Tanker* ditinjau dalam 3 kondisi muatan seperti skenario analisis, yaitu kondisi muatan *full load*, *half load*, dan kondisi muatan *ballast*.

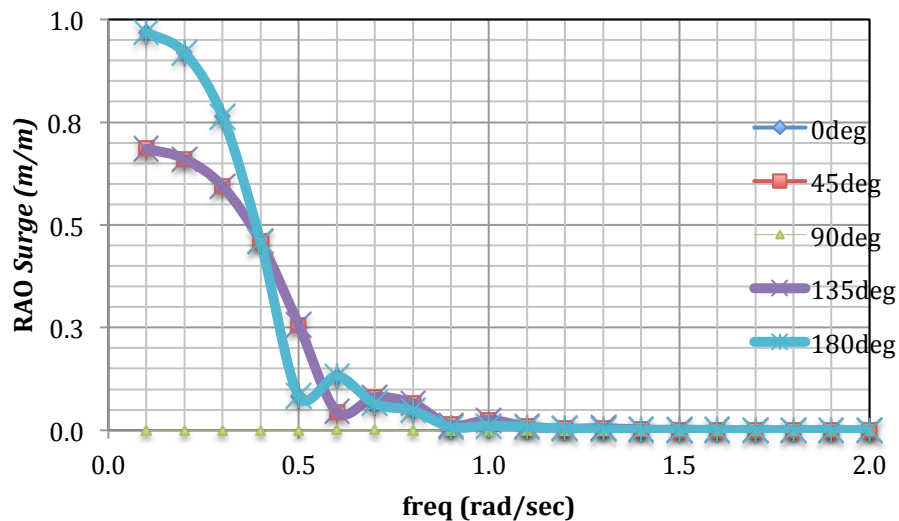
##### 4.2.2.1 *Shuttle Tanker* Kondisi *Full Load*

Nilai maksimum RAO struktur *Shuttle Tanker* dapat dilihat pada Tabel 4.5.

**Tabel 4.5** Nilai maximum RAO *Shuttle Tanker* kondisi *Full Load*

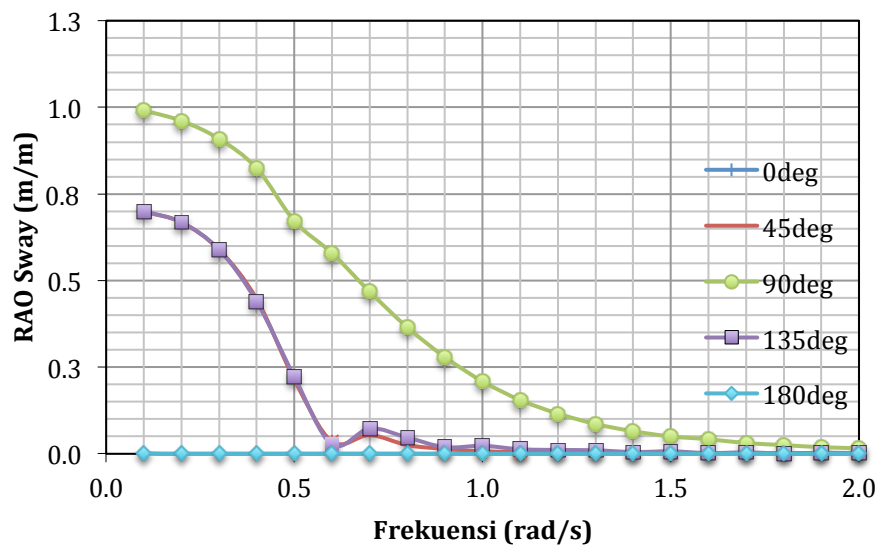
Moda gerak	Heading				
	0°	45°	90°	135°	180°
<i>surge</i> (m/m)	0.764	0.594	0	0.594	0.764
<i>sway</i> (m/m)	0	0.589	0.909	0.589	0
<i>heave</i> (m/m)	0.82	0.913	1.012	0.917	0.827
<i>roll</i> (deg/m)	0	0.465	0.718	0.464	0
<i>pitch</i> (deg/m)	0.502	0.376	0.003	0.371	0.494
<i>yaw</i> (deg/m)	0	0.179	0.003	0.18	0

Karakteristik gerak *Shuttle Tanker* untuk kondisi *Full Load* dapat dilihat pada gambar 4.18 hingga 4.23:.



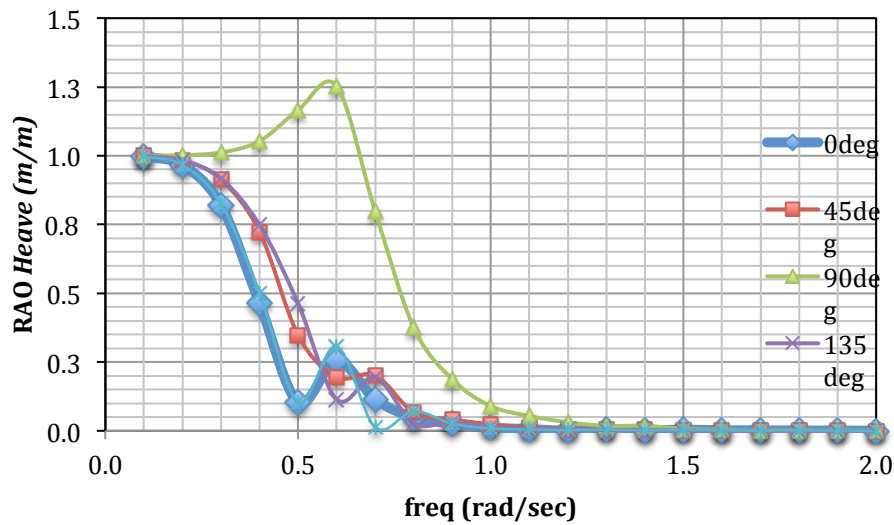
**Gambar 4.18** RAO *surge* pada *Shuttle Tanker* kondisi *Full Load*

Pada moda gerak *surge*, amplitudo tertinggi struktur *Shuttle Tanker* kondisi *Full Load* berada pada arah pembebanan  $0^\circ$  dan  $180^\circ$  yaitu sebesar 0.764 m/m, dan amplitudo sebesar 0 m/m ditemui pada arah pembebanan  $90^\circ$ . Amplitudo yang sama ditemui pula pada arah pembebanan  $45^\circ$  dan  $135^\circ$  yaitu sebesar 0.594 m/m. Selanjutnya pada moda gerak *sway*, amplitudo bernilai 0 m/m pada arah pembebanan  $0^\circ$  dan  $180^\circ$  kemudian amplitudo bernilai sama pada arah pembebanan  $45^\circ$  dan  $135^\circ$  yaitu sebesar 0.589 m/m.



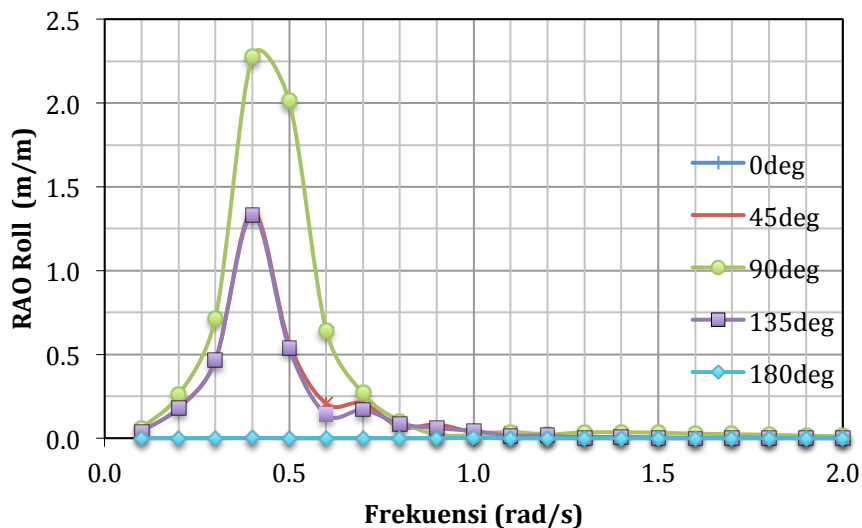
**Gambar 4.19** RAO *sway* pada *Shuttle Tanker* kondisi *Full Load*

Pada moda gerak *heave*, amplitudo tertinggi berada pada arah pembebanan  $90^\circ$  yaitu sebesar 1.012 m/m kemudian disusul dengan amplitudo sebesar 1.012 m/m pada arah pembebanan  $135^\circ$  yaitu sebesar 0.917 m/m.



**Gambar 4.20** RAO *heave* pada *Shuttle Tanker* kondisi *Full Load*

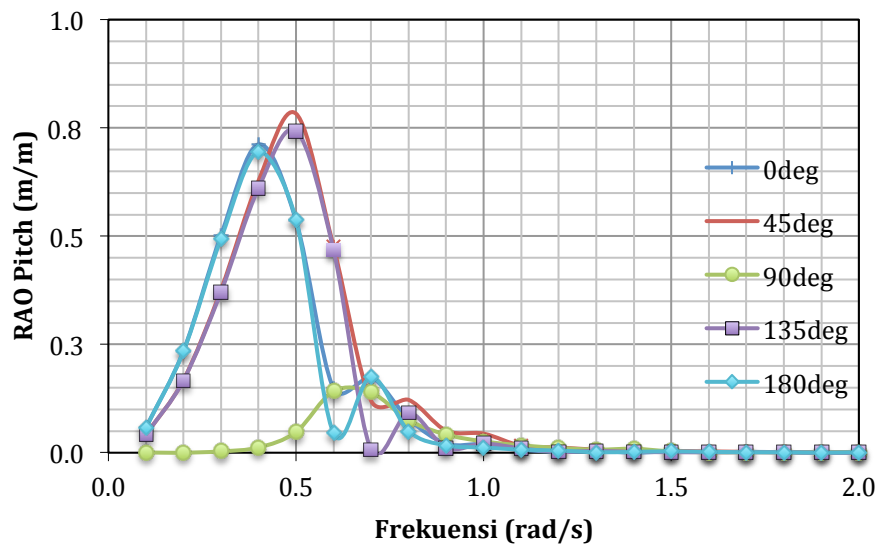
Pada moda gerak *roll*, amplitudo bernilai 0 deg/m terdapat pada dua arah pembebanan yaitu 0° dan 180°, selanjutnya, amplitudo yang hampir sama ditemui pada arah pembebanan 45° dan 135° yaitu sebesar 0.464 deg/m dan 0.465 deg/m. Amplitudo tertinggi pada moda gerak *roll* berada pada arah pembebanan 90° yaitu sebesar 0.718 deg/m.



**Gambar 4.21** RAO *roll* pada *Shuttle Tanker* kondisi *Full Load*

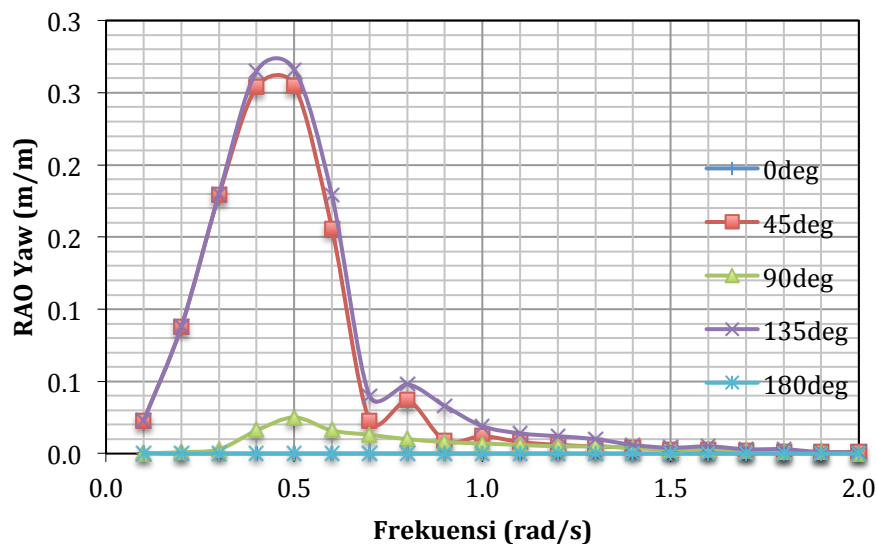
Pada moda gerak *pitch*, amplitudo terbesar berada pada arah pembebanan 0° yaitu sebesar 0.502 deg/m dan disusul dengan amplitudo sebesar 0.376 deg/m

pada arah pembebanan  $45^\circ$ . Amplitudo terendah berada pada arah pembebanan  $90^\circ$  yaitu sebesar  $0.376 \text{ deg/m}$ .



**Gambar 4.22** RAO *pitch* pada *Shuttle Tanker* kondisi *Full Load*

Pada moda gerak *yaw*, amplitudo bernilai  $0 \text{ deg/m}$  ditemukan pada arah pembebanan  $0^\circ$  dan  $180^\circ$  dan amplitudo tertinggi berada pada arah pembebanan  $135^\circ$  yaitu sebesar  $0.18 \text{ deg/m}$ .



**Gambar 4.23** RAO *yaw* pada *Shuttle Tanker* kondisi *Full Load*

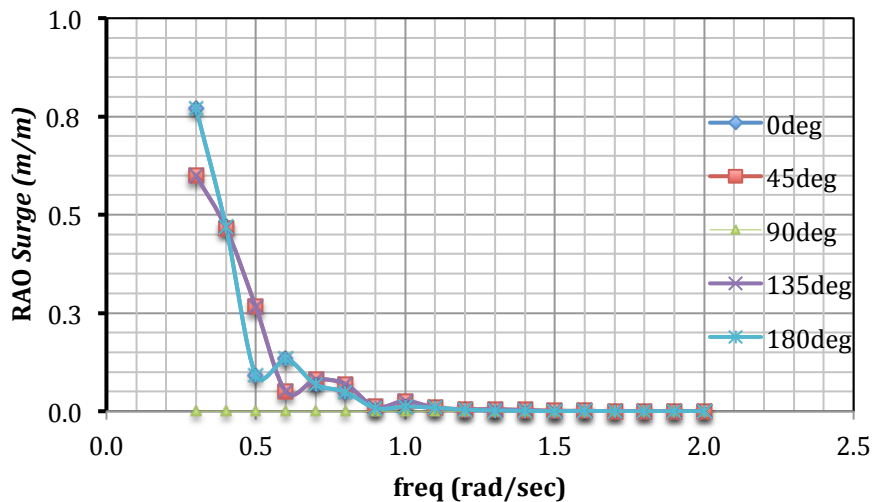
#### 4.2.2.2 Shuttle Tanker Kondisi Half Load

Nilai maksimum RAO pada struktur *Shuttle Tanker* dapat dilihat pada Tabel 4.6.

**Tabel 4.6** Nilai maximum RAO *Shuttle Tanker* kondisi *Half Load*

Moda gerak	Heading				
	0°	45°	90°	135°	180°
<i>surge</i> (m/m)	0.765	0.595	0	0.595	0.765
<i>sway</i> (m/m)	0	0.606	0.935	0.606	0
<i>heave</i> (m/m)	0.82	0.913	1.012	0.917	0.827
<i>roll</i> (deg/m)	0.001	1.042	3.107	0.948	0.001
<i>pitch</i> (deg/m)	0.706	0.624	0.012	0.608	0.69
<i>yaw</i> (deg/m)	0	0.256	0.256	0.259	0

Karakteristik gerak *Shuttle Tanker* untuk kondisi *Half Load* dapat dilihat pada gambar 4.24 hingga 4.29

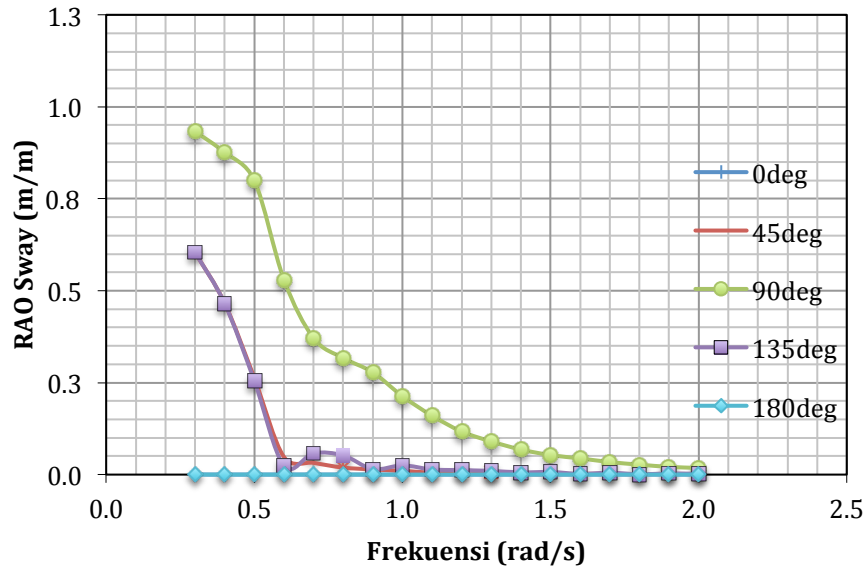


**Gambar 4.24** RAO *surge* pada *Shuttle Tanker* kondisi *Half Load*

Pada moda gerak *surge*, amplitudo tertinggi struktur *Shuttle Tanker* kondisi *half load* berada pada arah pembebanan 0° dan 180° yaitu sebesar 0.771 m/m, dan amplitudo sebesar 0 m/m ditemui pada arah pembebanan 90°. Amplitudo yang sama ditemui pula pada arah pembebanan 45° dan 135° yaitu sebesar 0.599 m/m.

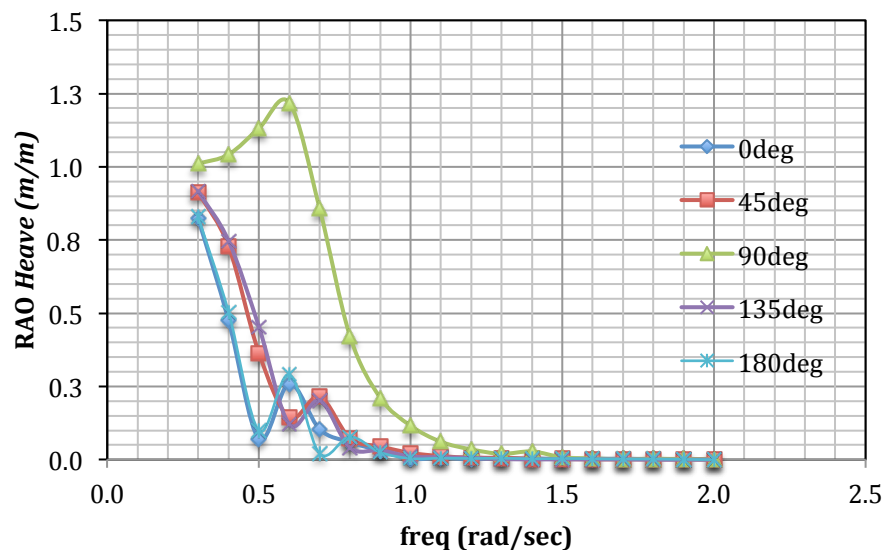


Selanjutnya pada moda gerak *sway*, amplitudo bernilai 0 m/m pada arah pembebanan 0° dan 180° kemudian amplitudo bernilai sama pada arah pembebanan 45° dan 135° yaitu sebesar 0.605 m/m.



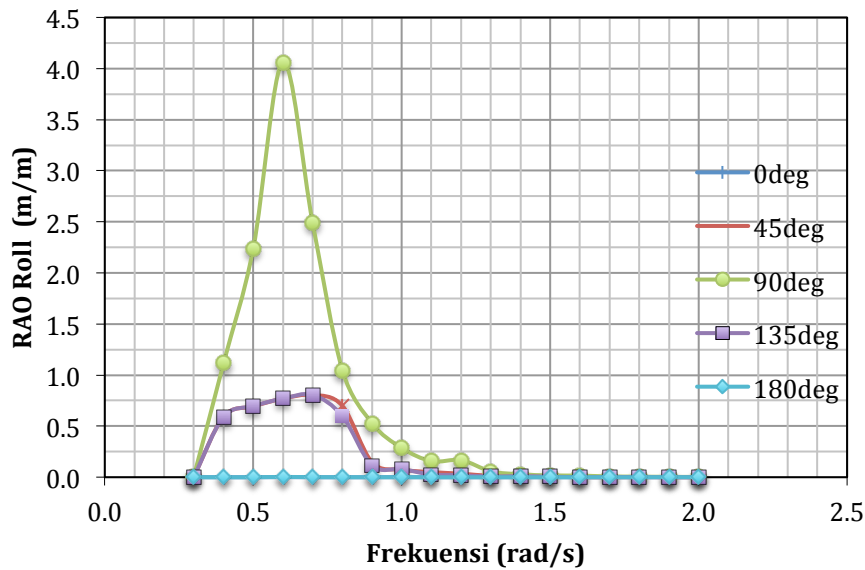
**Gambar 4.25** RAO sway pada *Shuttle Tanker* kondisi *Half Load*

Pada moda gerak *heave*, amplitudo tertinggi berada pada arah pembebanan 90° yaitu sebesar 1.219 m/m kemudian disusul dengan amplitudo sebesar 0.917 m/m pada arah pembebanan 135°.



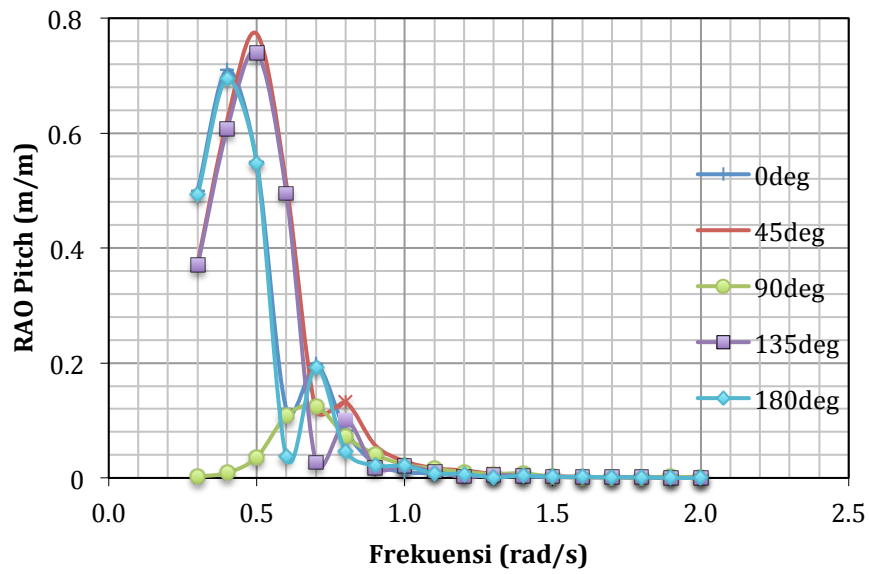
**Gambar 4.26** RAO heave pada *Shuttle Tanker* kondisi *Half Load*

Pada moda gerak *roll*, amplitudo bernilai 0.001 deg/m terdapat pada dua arah pembebanan yaitu  $0^\circ$  dan amplitudo sebesar 0.003 deg/m pada arah pembebanan  $180^\circ$ , selanjutnya, amplitudo yang hampir sama ditemui pada arah pembebanan  $45^\circ$  dan  $135^\circ$  yaitu sebesar 0.806 deg/m dan 0.465 deg/m. Amplitudo tertinggi pada moda gerak *roll* berada pada arah pembebanan  $90^\circ$  yaitu sebesar 4.605 deg/m.



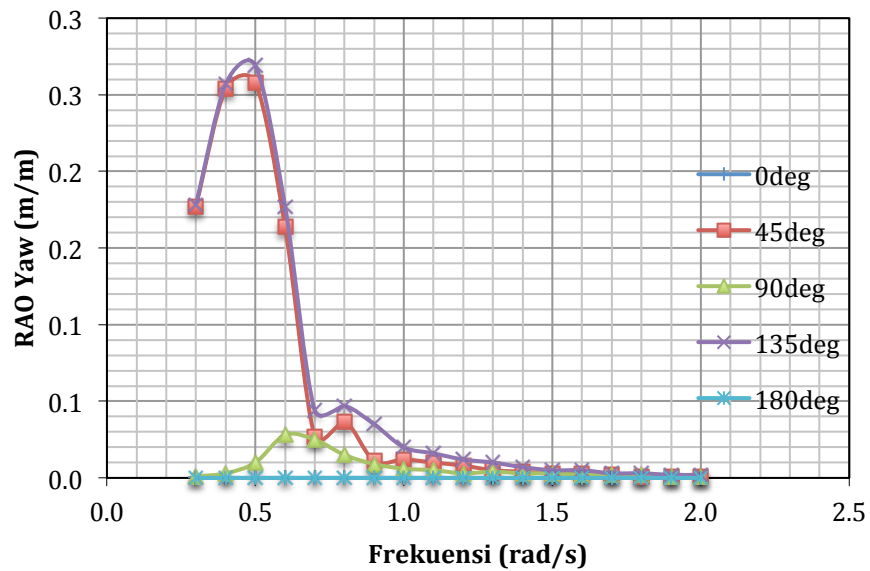
**Gambar 4.27** RAO *roll* pada *Shuttle Tanker* kondisi *Half Load*

Pada moda gerak *pitch*, amplitudo terbesar berada pada arah pembebanan  $45^\circ$  yaitu sebesar 0.773 deg/m dan disusul dengan amplitudo sebesar 0.740 deg/m pada arah pembebanan  $135^\circ$ . Amplitudo terendah berada pada arah pembebanan  $90^\circ$  yaitu sebesar 0.125 deg/m.



**Gambar 4.28** RAO *pitch* pada *Shuttle Tanker* kondisi *Half Load*

Pada moda gerak *yaw*, amplitudo bernilai 0 deg/m ditemukan pada arah pembebanan 0° dan 180° dan amplitudo tertinggi berada pada arah pembebanan 135° yaitu sebesar 0.269 deg/m.



**Gambar 4.29** RAO *yaw* pada *Shuttle Tanker* kondisi *Half Load*

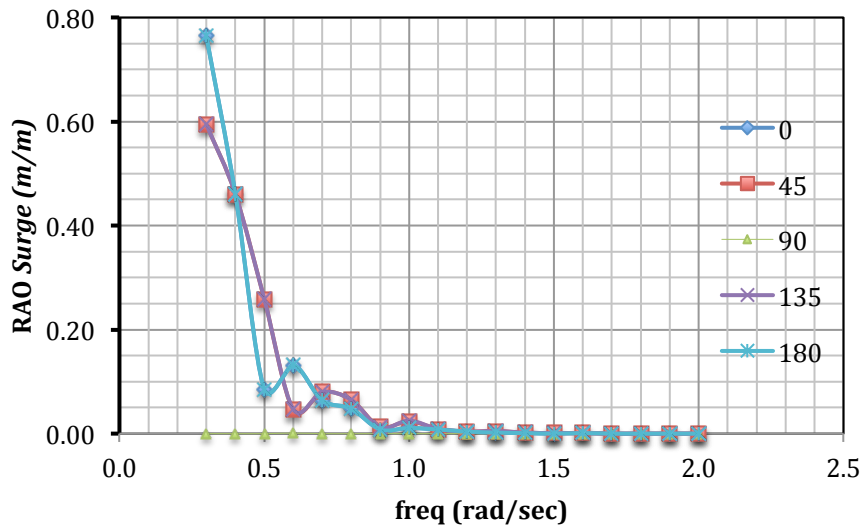
#### 4.2.2.3 Shuttle Tanker Kondisi Ballast

Nilai maksimum RAO pada struktur *Shuttle Tanker* dapat dilihat pada Tabel 4.7.

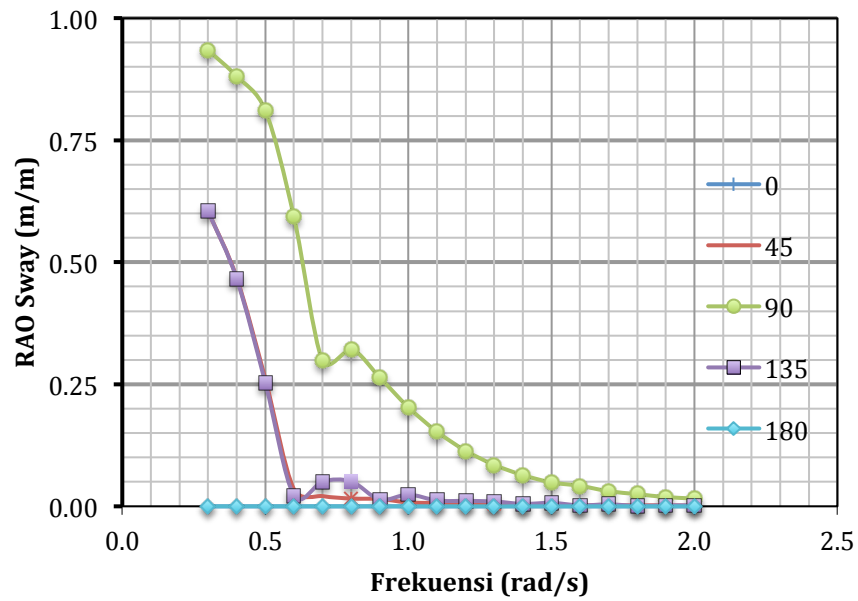
Moda gerak	Heading				
	0°	45°	90°	135°	180°
<i>surge</i> (m/m)	0.771	0.599	0.000	0.599	0.771
<i>sway</i> (m/m)	0.000	0.605	0.933	0.605	0.000
<i>heave</i> (m/m)	0.824	0.914	1.219	0.917	0.829
<i>roll</i> (deg/m)	0.001	0.806	4.065	0.806	0.003
<i>pitch</i> (deg/m)	0.710	0.773	0.125	0.740	0.695
<i>yaw</i> (deg/m)	0.000	0.258	0.028	0.269	0.000

**Tabel 4.7** Nilai maximum RAO *Shuttle Tanker* kondisi *Ballast*

Karakteristik gerak *Shuttle Tanker* untuk kondisi *full load* dapat dilihat pada gambar 4.30 hingga 4.34. Pada moda gerak *surge*, amplitudo tertinggi berada pada arah pembebanan 0° dan 180° yaitu sebesar 0.765 m/m. Amplitudo yang sama juga ditemukan pada arah pembebanan 45° dan 135° yaitu sebesar 0.595 m/m. Amplitudo bernilai 0 m/m ditemukan pada arah pembebanan 90°

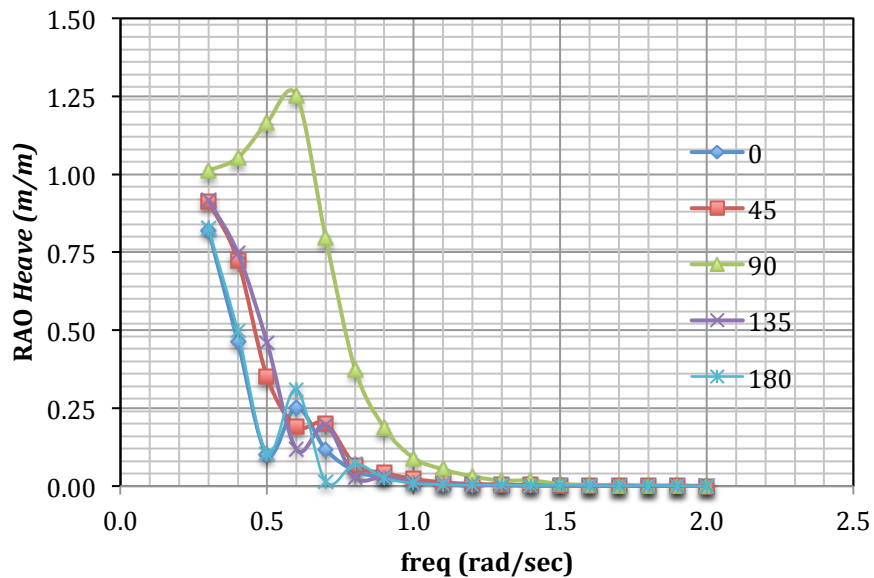


**Gambar 4.30** RAO *surge* pada *Shuttle Tanker* kondisi *ballast*



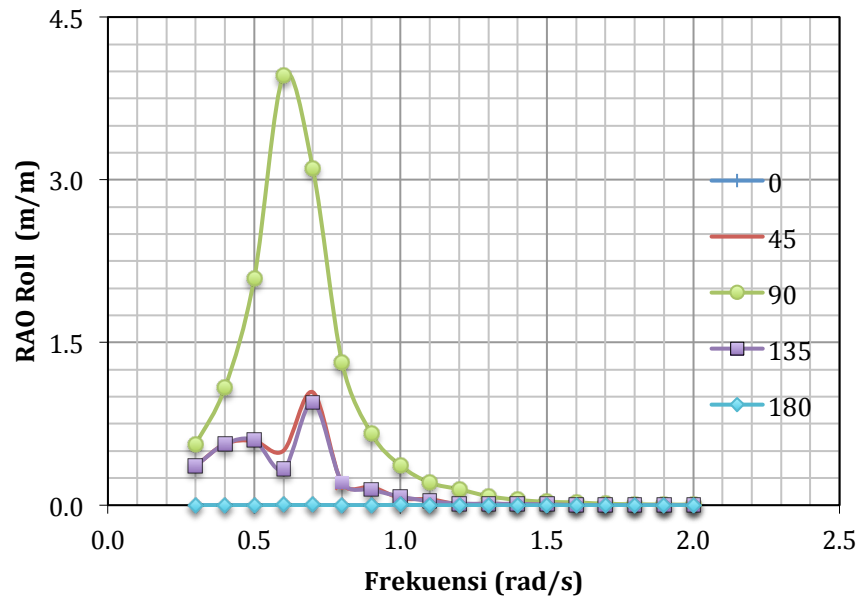
**Gambar 4.31** RAO sway pada *Shuttle Tanker* kondisi *ballast*

Pada moda gerak *sway*, amplitudo bernilai 0 m/m ditemukan pada arah oembebanan  $0^\circ$  dan  $180^\circ$ . Amplitudo tertinggi pada moda gerak *sway* berada pada arah pembebanan  $90^\circ$  yaitu sebesar 0.935 m/m. Amplitudo yang sama juga ditemui pada arah pembebanan  $45^\circ$  dan  $135^\circ$  yaitu sebesar 0.606 m/m.

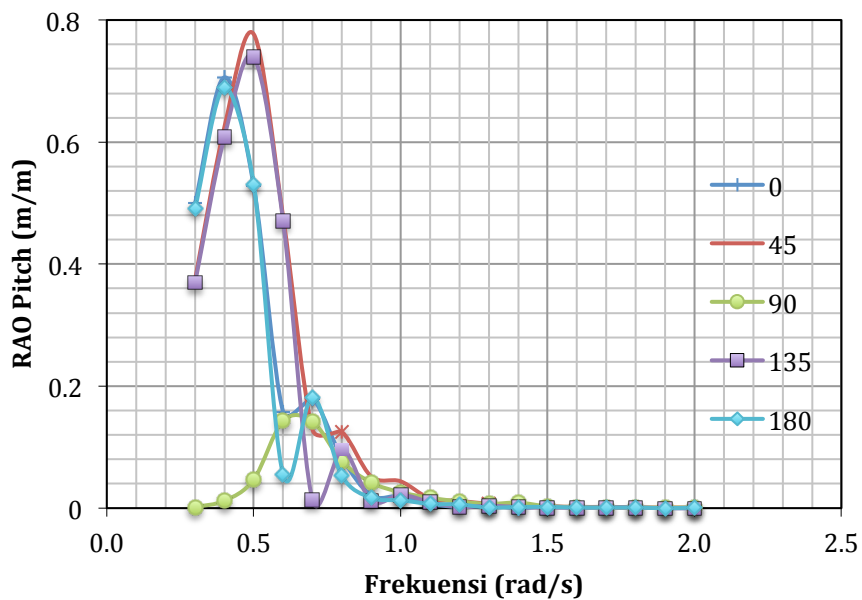


**Gambar 4.32** RAO heave pada *Shuttle Tanker* kondisi *ballast*

Pada moda gerak *roll*, amplitudo tertinggi berada pada arah pembebanan  $90^\circ$  yaitu sebesar 3.107 deg/m, disusul dengan arah pembebanan  $45^\circ$  yaitu sebesar 1.042 deg/m. Amplitudo yang sama ditemukan pada arah pembebanan  $0^\circ$  dan  $180^\circ$  yaitu sebesar 0.001 deg/m.

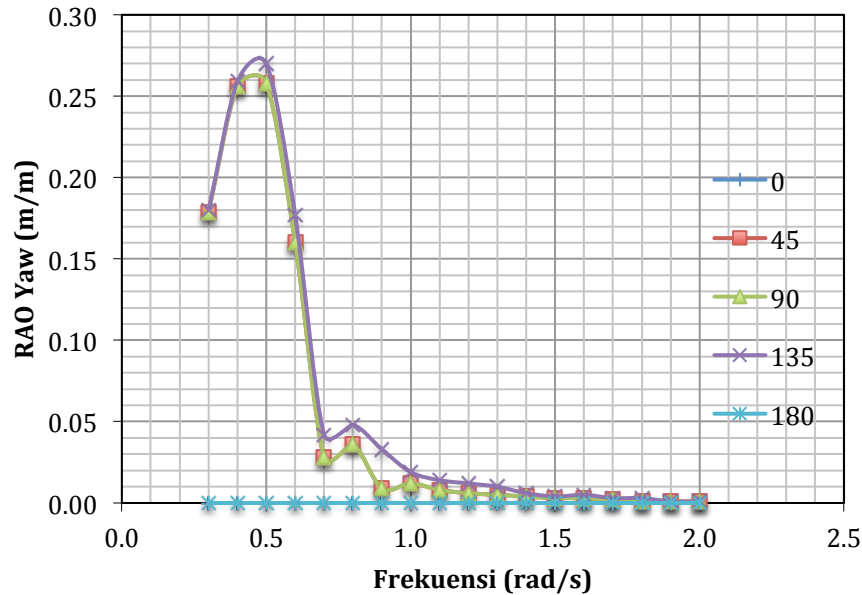


**Gambar 4.33** RAO roll pada *Shuttle Tanker* kondisi *ballast*



**Gambar 4.34** RAO pitch pada *Shuttle Tanker* kondisi *ballast*

Pada moda gerak *pitch*, amplitudo tertinggi berada pada arah pembebanan  $0^\circ$  yaitu sebesar 0.706 deg/m dan disusul oleh arah pembebanan  $180^\circ$  yaitu sebesar 0.60 deg/m.

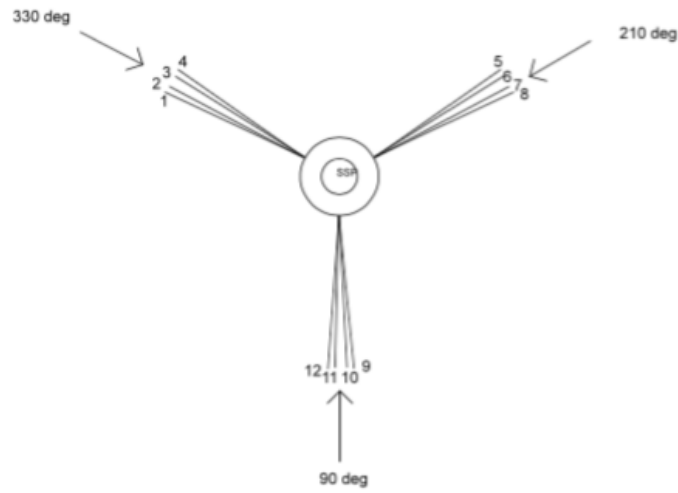


**Gambar 4.35** RAO yaw pada *Shuttle Tanker* kondisi *ballast*

Pada moda gerak *yaw*, amplitudo tertinggi berada pada arah pembebanan  $135^\circ$  yaitu sebesar 0.259 deg/m. Amplitudo yang sama ditemukan pada arah pembebanan  $45^\circ$  dan  $90^\circ$ . Amplitudo bernilai 0 deg/m pada moda gerak *yaw* juga ditemukan pada arah pembebanan  $0^\circ$  dan  $180^\circ$ .

### 4.3 SKENARIO PENELITIAN

Skenario penelitian respon gerak dan *tension* adalah sebagai berikut. Struktur berada pada kondisi *Stand Alone* tanpa melakukan aktivitas *offloading*. Struktur yang diamati adalah SSP dengan muatan *full load* dan *ballast load* yang memiliki 12 *mooring line*, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 4.36, yang terbagi menjadi 3 bagian dimana setiap bagian terdiri dari 3 *mooring line* dengan konfigurasi *Catenary* dan *Taut*. Dengan *pre tension* berturut turut sebesar 1400.29 kN dan 5000 kN. Struktur dikenai gelombang dengan  $H_s$  sebesar 0.5, 1.5, 2.5, 3.5, dan 4.5 m. Skenario penelitian kondisi *Stand Alone* dirangkum pada Tabel 4.8.



**Gambar 4.36** Konfigurasi SSP *Stand Alone*

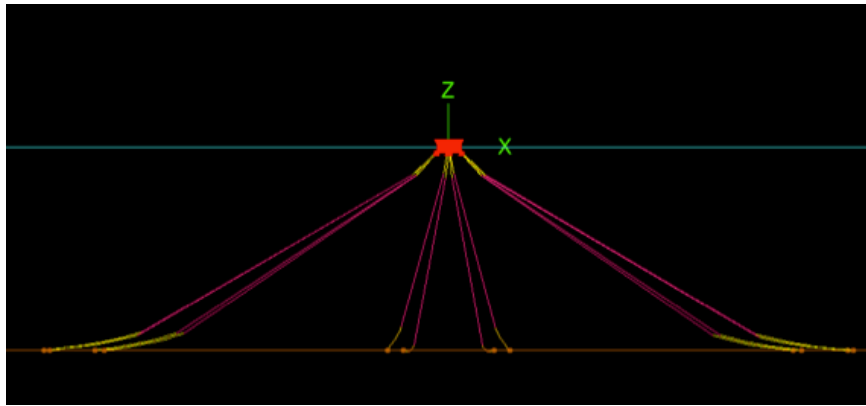
**Tabel 4.8** Skenario penelitian kondisi *Stand Alone*

Konfigurasi	No.	Muatan SSP	Arah pembebanan (°)	Hs [m]
Catenary	1	full load	90, 210, 330	0.5, 1.5, 2.5, 3.5, 4.5
	2	ballast		
Taut	3	full load		
	4	ballast		

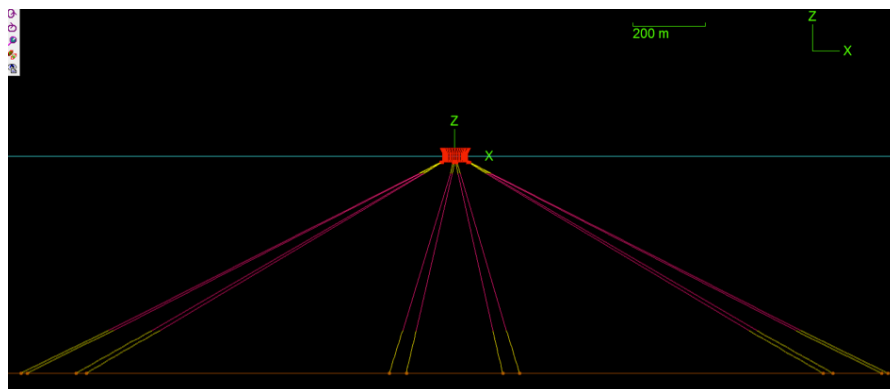


#### 4.4 PERMODELAN PADA ORCAFLEX

Permodelan struktur SSP dan *Shuttle Tanker* dilakukan dengan menggunakan *software* moses. Setelah itu, hal yang perlu dilakukan adalah melakukan pemodelan konfigurasi sistem tambat menggunakan *software* Orcaflex (Gambar 4.38), dengan memasukkan hasil outputan meshing yang telah didapat dari *software* moses, dan membuat konfigurasi *mooring line* nya dengan memasukkan properti-properti tali tambat seperti jenis tali, diameter tali, panjang tali, dan posisi-posisi serta kordinat-kordinat *anchor* dan *fairlead*. Berikut adalah hasil permodelan konfigurasi sistem tambat yang dilakukan pada *software* Orcalfex



**Gambar 4.37** Konfigurasi sistem tambat *Catenary* pada Orcaflex



**Gambar 4.38** Konfigurasi sistem tambat *Taut* pada Orcaflex

Berikut diberikan data koordinat penempatan *mooring line* pada *anchor* (Tabel 4.9) dan pada *fairlead* (Tabel 4.10), yang disesuaikan dengan kedalaman perairan Masela yaitu 600 m,

**Tabel 4.9** Posisi *anchor* untuk penempatan *mooring line*

fairlead	x	y	z
<i>Line 1</i>	-39.968	17.795	0.000
<i>Line 2</i>	-38.629	20.539	0.000
<i>Line 3</i>	-37.702	23.184	0.000
<i>Line 4</i>	-35.395	25.716	0.000
<i>Line 5</i>	35.395	25.716	0.000
<i>Line 6</i>	37.702	23.184	0.000
<i>Line 7</i>	38.629	20.539	0.000
<i>Line 8</i>	39.968	17.795	0.000
<i>Line 9</i>	4.573	-43.510	0.000
<i>Line 10</i>	3.742	-42.517	0.000
<i>Line 11</i>	-1.527	-43.723	0.000
<i>Line 12</i>	-4.573	-43.510	0.000

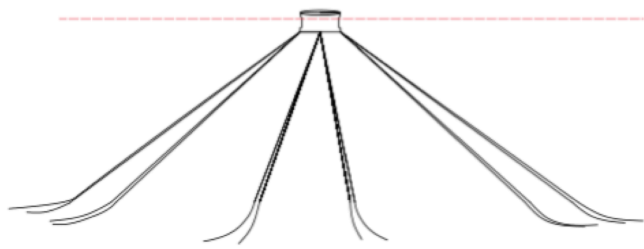
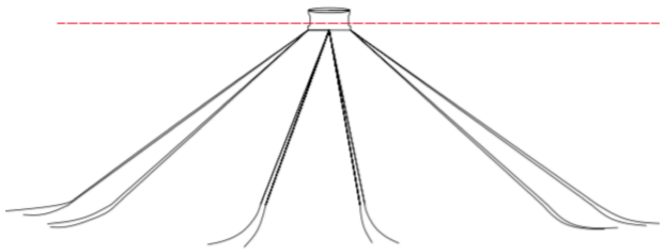
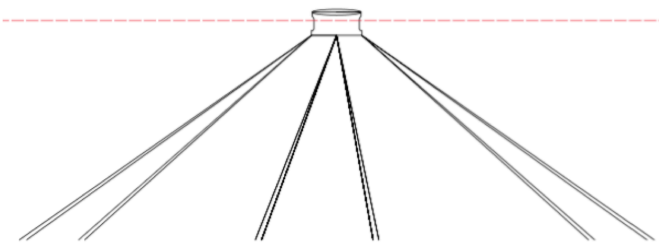
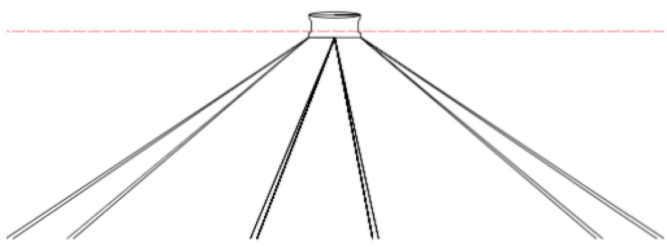
**Tabel 4.10** Posisi *fairlead* untuk penempatan *mooring line*

anchor	x	y	z
<i>Line 1</i>	-1199.544	466.853	0.000
<i>Line 2</i>	-1181.899	526.216	0.000
<i>Line 3</i>	-1046.666	760.447	0.000
<i>Line 4</i>	-1019.489	796.512	0.000
<i>Line 5</i>	1019.489	795.512	0.000
<i>Line 6</i>	1046.666	760.447	0.000
<i>Line 7</i>	1181.899	526.216	0.000
<i>Line 8</i>	1199.544	466.853	0.000
<i>Line 9</i>	180.055	-1281.159	0.000
<i>Line 10</i>	133.707	-1242.939	0.000
<i>Line 11</i>	-133.707	-1242.939	0.000
<i>Line 12</i>	-180.055	-1281.159	0.000

Skenario kondisi pemodelan SSP saat kondisi tertambat *Stand Alone* terlampir pada point-poin berikut, dan tergambar pada Tabel 4.11:

- Kondisi 1 = SSP bermuatan *Full Load* dan dengan konfigurasi *mooring Catenary*
- Kondisi 2 = SSP bermuatan *Ballast load* dan dengan konfigurasi *mooring Catenary*
- Kondisi 3 = SSP bermuatan *Full Load* dan dengan konfigurasi *mooring Taut*
- Kondisi 4 = SSP bermuatan *Ballast load* dan dengan konfigurasi *mooring Taut*

**Tabel 4.11** Skenario kondisi SSP *Stand Alone*

Skenario Kondisi	Muatan SSP	Konfigurasi mooring	Ilustrasi
Kondisi 1	<i>full load</i>	<i>catenary</i>	<p>KONDISI 1 SSP FULL LOAD - konf. Catenary</p> 
Kondisi 2	<i>ballast load</i>		<p>KONDISI 2 SSP BALLAST LOAD - konf. Catenary</p> 
Kondisi 3	<i>full load</i>	<i>taut</i>	<p>KONDISI 3 SSP FULL LOAD - konf. Taut</p> 
Kondisi 4	<i>ballast load</i>		<p>KONDISI 4 SSP BALLAST LOAD - konf. Taut</p> 

#### 4.5 KARAKTERISTIK GERAK STRUKTUR DAN *TENSION MOORING LINE* PADA KONDISI *STAND ALONE*

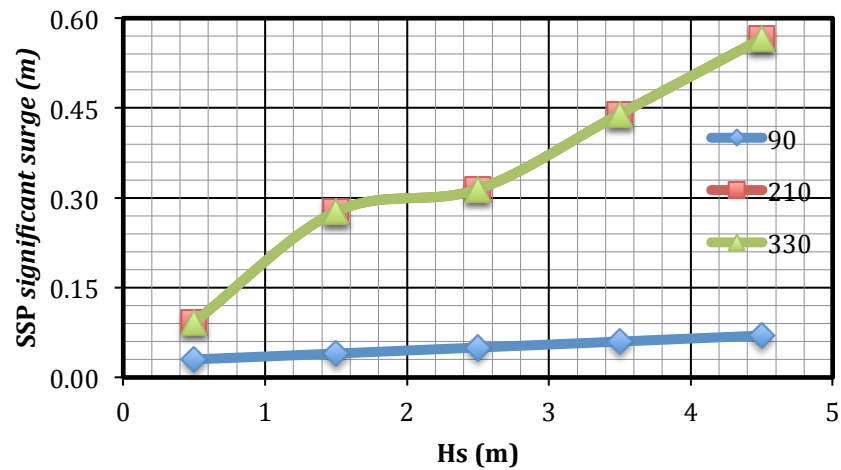
Setelah selesai melakukan permodelan struktur tertambat dalam kondisi *Stand Alone*, kita harus menganalisa respon gerak struktur dan *tension* yang dihasilkan dari *mooring line*.

##### 4.5.1 Analisa Respon Gerak SSP pada saat *Stand Alone* kondisi 1 (SSP bermuatan *Full Load* dengan konfigurasi *Catenary*)

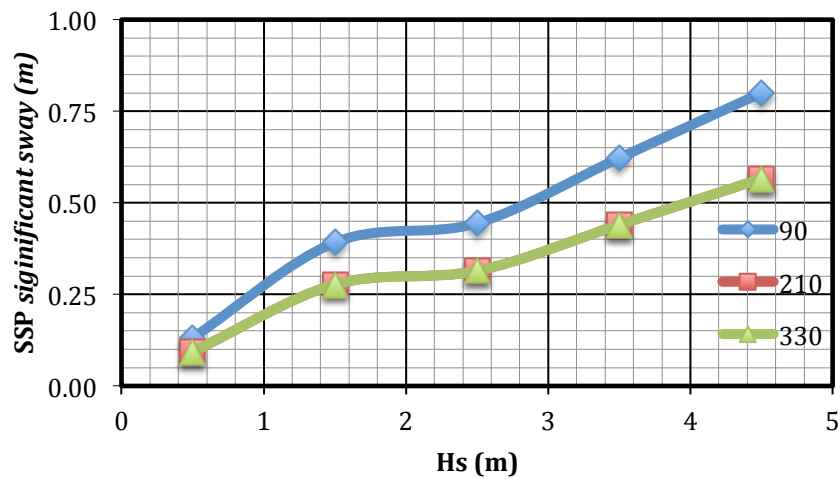
Pada Tabel 4.11 diberikan tabulasi respon gerak struktur dengan untuk tiap – tiap kasus yang dianalisis. Kondisi ini adalah kondisi pada saat SSP bermuatan *Full Load* dan memiliki konfigurasi *mooring Catenary*. Karakteristik respon gerak struktur terhadap beban lingkungan pada kondisi ini dapat dilihat pada Grafik 4.39 hingga Grafik 4.44:

**Tabel 4.11** Nilai amplitudo signifikan kondisi SSP *Full Load* konf. *Catenary*

Heading (°)	Nilai amplitudo signifikan					
	Moda Gerak	Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
90	<i>surge</i> (m)	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07
	<i>sway</i> (m)	0.131	0.392	0.445	0.622	0.8
	<i>heave</i> (m)	0.116	0.347	0.089	0.124	0.16
	<i>roll</i> (deg)	0.064	0.192	0.256	0.359	0.462
	<i>pitch</i> (deg)	0.021	0.08	0.111	0.165	0.276
	<i>yaw</i> (deg)	0.018	0.019	0.02	0.025	0.031
210	<i>surge</i> (m)	0.092	0.277	0.314	0.44	0.566
	<i>sway</i> (m)	0.092	0.277	0.314	0.44	0.566
	<i>heave</i> (m)	0.116	0.347	0.089	0.124	0.16
	<i>roll</i> (deg)	0.045	0.136	0.181	0.254	0.326
	<i>pitch</i> (deg)	0.045	0.136	0.181	0.254	0.326
	<i>yaw</i> (deg)	0.038	0.039	0.04	0.045	0.051
330	<i>surge</i> (m)	0.092	0.277	0.314	0.44	0.566
	<i>sway</i> (m)	0.092	0.277	0.314	0.44	0.566
	<i>heave</i> (m)	0.116	0.347	0.089	0.124	0.16
	<i>roll</i> (deg)	0.045	0.136	0.181	0.254	0.326
	<i>pitch</i> (deg)	0.045	0.136	0.181	0.254	0.326
	<i>yaw</i> (deg)	0.058	0.059	0.06	0.065	0.071



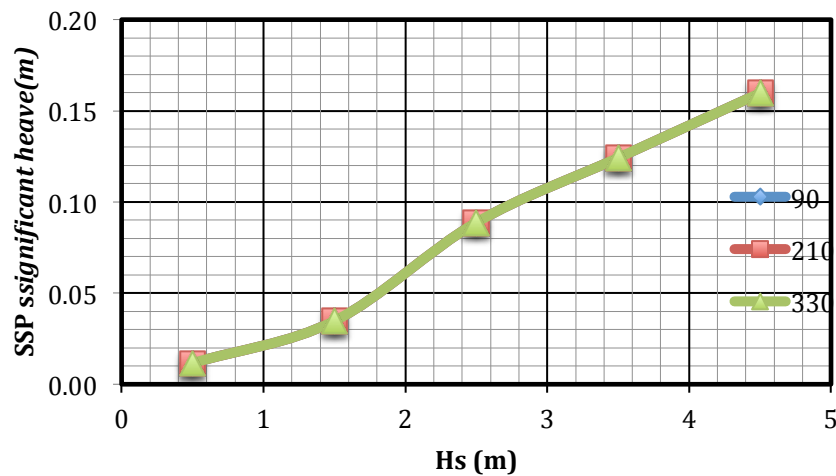
**Gambar 4.39** Respon gerak *surge* SSP *Stand Alone* bermuatan *Full Load* konf. *Catenary*



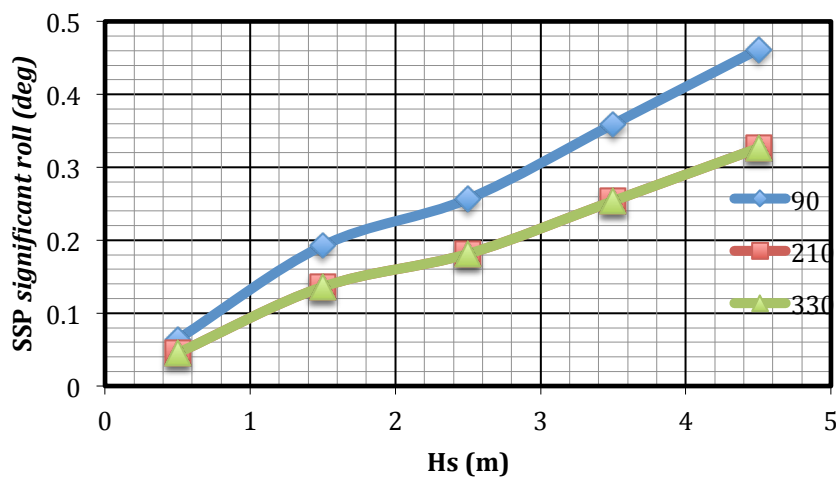
**Gambar 4.40** Respon gerak *sway* SSP *Stand Alone* bermuatan *Full Load* konf. *Catenary*

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari penelitian, dapat dilihat bahwa moda gerak *surge* tidak berpengaruh pada saat struktur diberi arah pembebanan gelombang dari sudut 90°. Sedangkan pada arah pembebanan 210° dan 330°, gerakan struktur meningkat seiring dengan bertambahnya tinggi gelombang signifikan. Sedangkan pada arah pembebanan 90°, respon gerak *sway* pada struktur didapati paling besar, di antara moda gerak lainnya. Hal ini masuk akal, karena arah pembebanan 90° searah dengan arah translasi pada sudut Y. Arah

pembebanan  $210^\circ$  dan  $330^\circ$  memiliki nilai yang sama dan mengalami kenaikan juga seiring dengan meningkatnya tinggi gelombang signifikan.



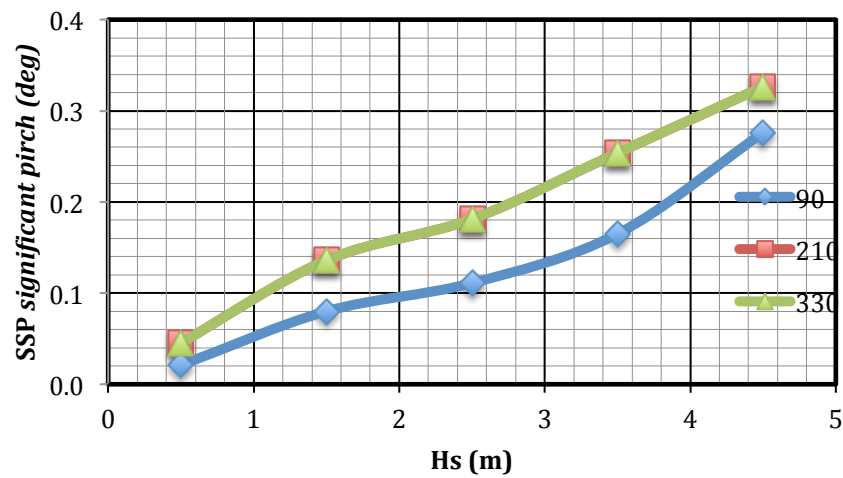
**Gambar 4.41** Respon gerak *heave* SSP *Stand Alone* bermuatan *Full Load* konf. *Catenary*



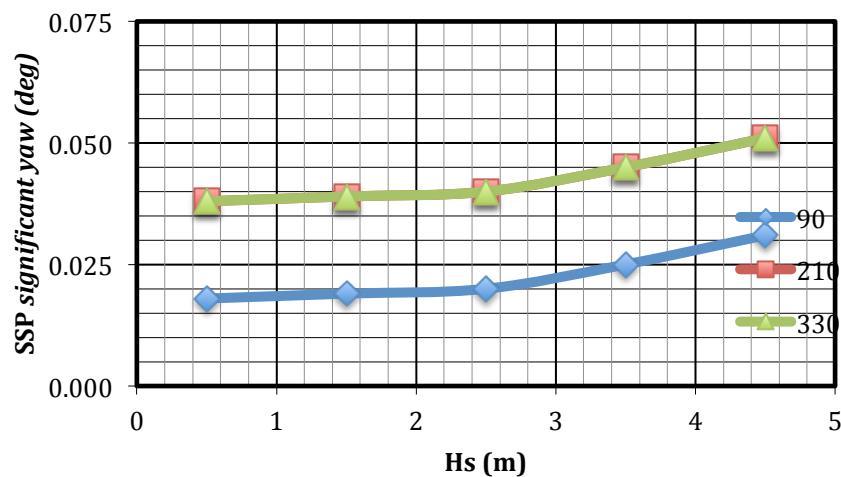
**Gambar 4.42** Respon gerak *roll* SSP *Stand Alone* bermuatan *Full Load* konf. *Catenary*

Nilai respon gerak *heave* yang dialami struktur cenderung sama untuk setiap arah pembebanan, mengingat bentuk dasar struktur yang berupa silinder yang menyebabkan respon gerak translasi sumbu Z bernilai sama untuk segala arah pembebanan. Respon gerak *roll* dalam struktur paling besar pada arah pembebanan gelombang  $90^\circ$ , dan diikuti dengan arah pembebanan  $210^\circ$  dan  $330^\circ$

yang bernilai hampir sama. Struktur tidak memiliki nilai *yaw* yang signifikan untuk segala arah pembebanan.



**Gambar 4.43** Respon gerak *pitch* SSP *Stand Alone* bermuatan *Full Load* konf. *Catenary*



**Gambar 4.44** Respon gerak *yaw* SSP *Stand Alone* bermuatan *Full Load* konf. *Catenary*

Berbeda dengan respon gerak *roll*, sudut 90° tidak mengalami respon gerak *pitch*. Hal ini dikarenakan rotasi pada sumbu Y tidak memberikan dampak signifikan pada saat arah pembebanan 90°, namun memberikan nilai respon gerak yang hampir sama untuk arah pembebanan 210° dan 330°

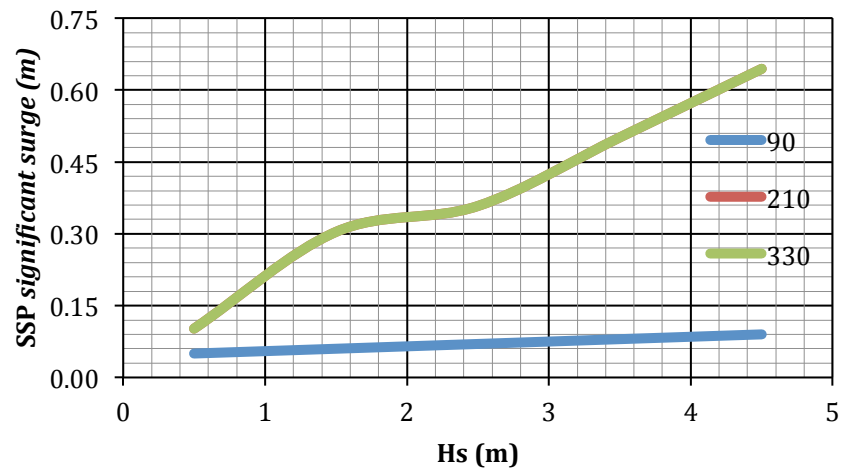
#### 4.5.2 Analisa Respon Gerak SSP pada saat *Stand Alone* kondisi 2 (SSP bermuatan *ballast* dengan konfigurasi *Catenary*)

Pada Tabel 4.12 diberikan nilai amplitudo signifikan dari respon gerak struktur dengan konfigurasi sistem tambat *Catenary* dengan muatan SSP *ballast*. Karakteristik respon gerak struktur terhadap beban lingkungan pada kondisi ini dapat dilihat pada Grafik 4.45 hingga Grafik 4.50

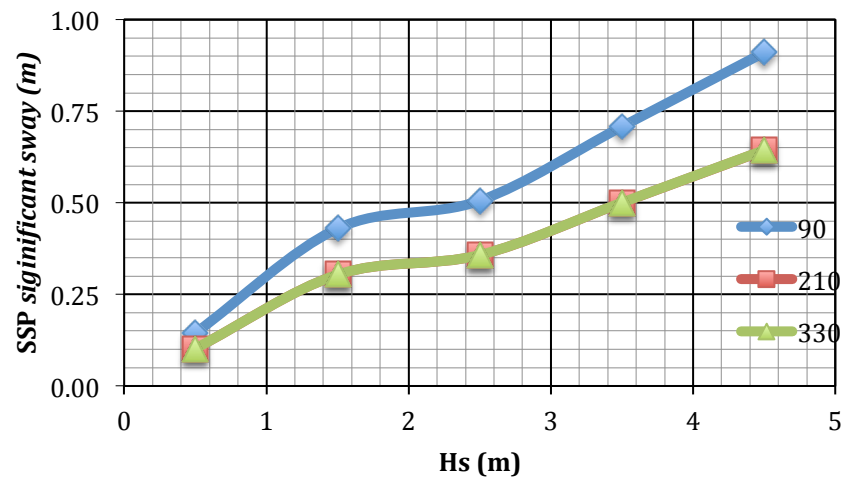
**Tabel 4.12** Nilai amplitudo signifikan kondisi SSP *Ballast load* konf. *Catenary*

Heading (°)	Nilai amplitudo signifikan					
	Moda Gerak	Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
90	<i>surge</i> (m)	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
	<i>sway</i> (m)	0.143	0.43	0.506	0.708	0.91
	<i>heave</i> (m)	0.013	0.038	0.128	0.18	0.231
	<i>roll</i> (deg)	0.088	0.264	0.369	0.517	0.664
	<i>pitch</i> (deg)	0.031	0.09	0.121	0.175	0.286
	<i>yaw</i> (deg)	0.011	0.012	0.013	0.014	0.015
210	<i>surge</i> (m)	0.101	0.304	0.358	0.501	0.644
	<i>sway</i> (m)	0.101	0.304	0.357	0.5	0.643
	<i>heave</i> (m)	0.013	0.038	0.128	0.18	0.231
	<i>roll</i> (deg)	0.062	0.187	0.261	0.366	0.47
	<i>pitch</i> (deg)	0.122	0.307	0.344	0.47	0.596
	<i>yaw</i> (deg)	0.014	0.017	0.019	0.022	0.024
330	<i>surge</i> (m)	0.101	0.304	0.358	0.501	0.644
	<i>sway</i> (m)	0.101	0.304	0.358	0.501	0.644
	<i>heave</i> (m)	0.013	0.038	0.128	0.18	0.231
	<i>roll</i> (deg)	0.062	0.187	0.261	0.366	0.47
	<i>pitch</i> (deg)	0.122	0.307	0.344	0.47	0.596
	<i>yaw</i> (deg)	0.014	0.017	0.019	0.022	0.024



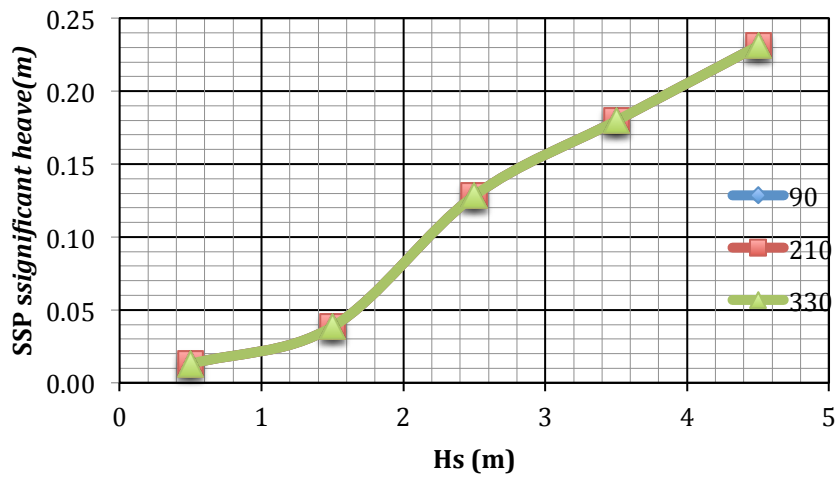


**Gambar 4.45** Respon gerak *surge* SSP *Stand Alone* bermuatan *Ballast load* konf. *Catenary*

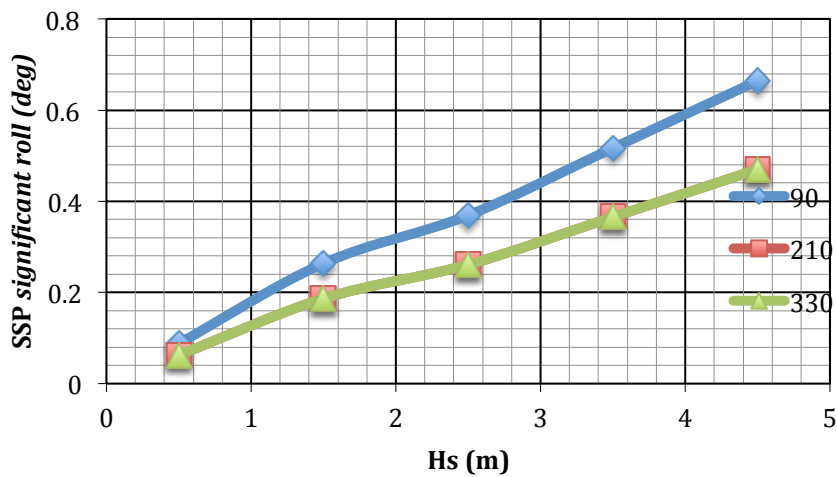


**Gambar 4.46** Respon gerak *sway* SSP *Stand Alone* bermuatan *Ballast load* konf. *Catenary*

Respon gerak *surge* pada arah pembebanan 90° tidak terlalu signifikan dibandingkan respon gerak *surge* pada struktur yang diberi arah pembebanan 210° dan 330°. Sedangkan pada arah gerak *sway* yang dialami struktur, arah pembebanan 90° mengalami respon yang paling besar dibandingkan arah pembebanan lainnya.

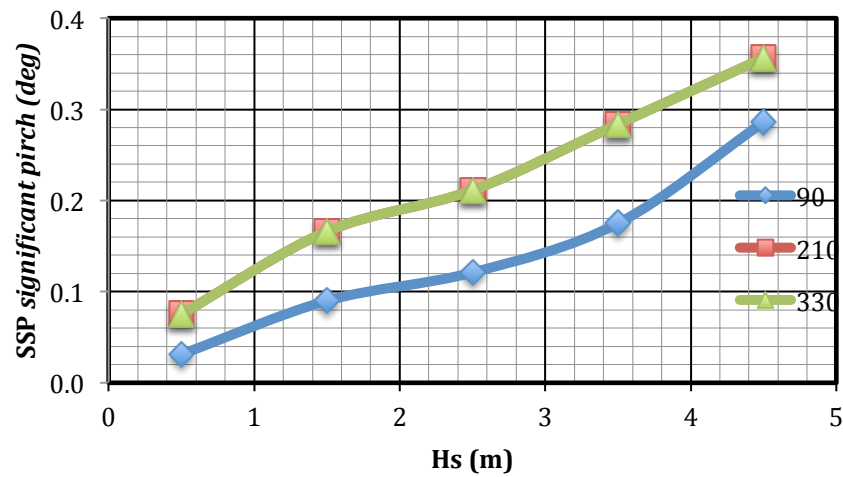


**Gambar 4.47** Respon gerak *heave* SSP *Stand Alone* bermuatan *Ballast load* konf. *Catenary*

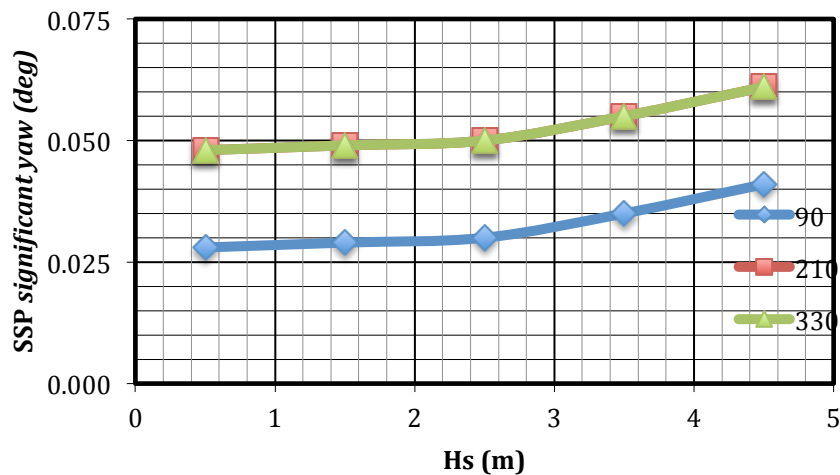


**Gambar 4.48** Respon gerak *roll* SSP *Stand Alone* bermuatan *Ballast load* konf. *Catenary*

Pada sudut  $90^\circ$ ,  $210^\circ$  dan  $330^\circ$ , moda gerak *heave* memiliki nilai yang sama. Berbeda dengan gerak *roll* yang memiliki nilai paling besar pada struktur yang diberi arah pembebanan  $90^\circ$ , dan memiliki nilai yang sama pada struktur yang diberi arah pembebanan  $210^\circ$  dan  $330^\circ$ .



**Gambar 4.49** Respon gerak *pitch* SSP *Stand Alone* bermuatan *Ballast load* konf. *Catenary*



**Gambar 4.50** Respon gerak *yaw* SSP *Stand Alone* bermuatan *Ballast load* konf. *Catenary*

Berdasarkan grafik dapat dilihat bahwa struktur tidak mengalami respon gerak *pitch* ketika dikenai gelombang dengan arah pembebanan  $90^\circ$ . Sedangkan sudut  $210^\circ$  dan  $330^\circ$  memiliki nilai yang sama untuk respon gerak *pitch*. Struktur tidak memiliki nilai respon gerak *yaw* yang signifikan saat dikenai arah pembebanan dari segala arah.

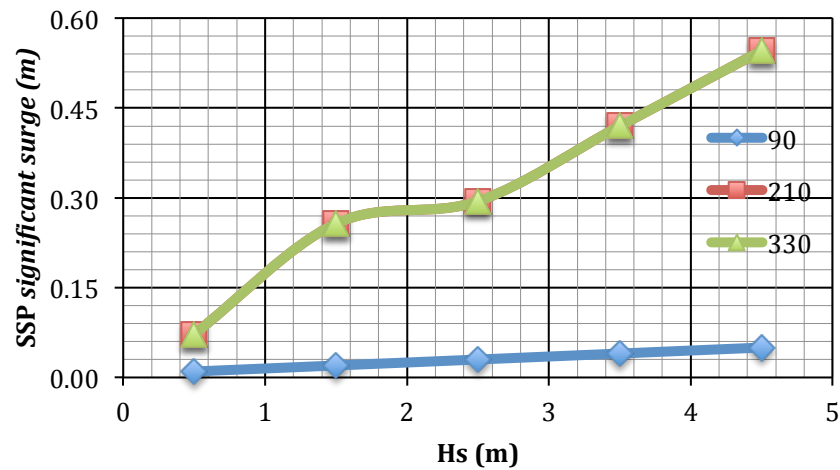
#### 4.5.3 Analisa Respon Gerak SSP pada saat *Stand Alone* Kondisi 3 (SSP bermuatan *Full Load* dengan konfigurasi *Taut*)

Pada Tabel 4.13 berikut dilampirkan nilai amplitudo signifikan dari respon gerak struktur pada saat tidak melakukan aktivitas *offloading* atau berada dalam posisi *Stand Alone* dengan konfigurasi sistem tambat *Taut* dengan muatan SSP *Full Load*. Karakteristik respon gerak struktur terhadap beban lingkungan pada kondisi ini dapat dilihat pada Grafik 4.51 hingga Grafik 4.56.

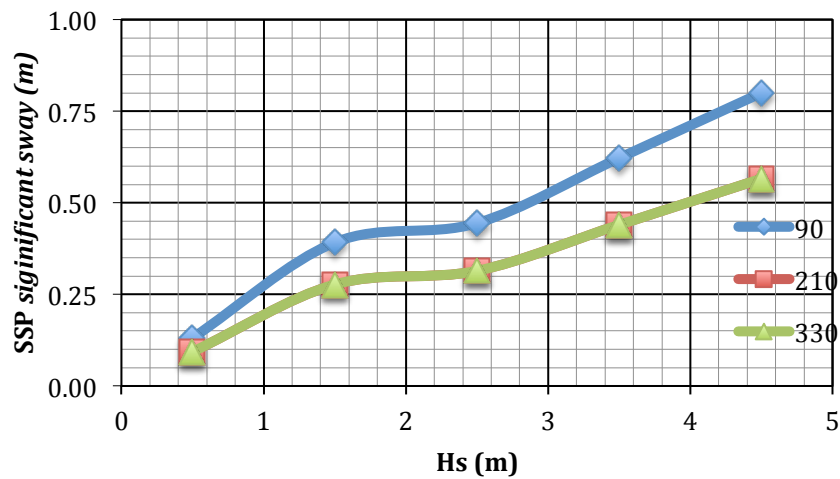
**Tabel 4.13** Nilai amplitudo signifikan SSP kondisi *Full Load* konfigurasi *Taut*

Heading (°)	Nilai amplitudo signifikan					
	Moda Gerak	Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
90	<i>surge</i> (m)	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
	<i>sway</i> (m)	0.111	0.372	0.425	0.602	0.78
	<i>heave</i> (m)	0.096	0.327	0.069	0.104	0.14
	<i>roll</i> (deg)	0.044	0.172	0.236	0.339	0.442
	<i>pitch</i> (deg)	0.001	0.06	0.091	0.145	0.256
	<i>yaw</i> (deg)	0.008	0.009	0.01	0.011	0.012
210	<i>surge</i> (m)	0.072	0.257	0.294	0.42	0.546
	<i>sway</i> (m)	0.072	0.257	0.294	0.42	0.546
	<i>heave</i> (m)	0.096	0.327	0.069	0.104	0.14
	<i>roll</i> (deg)	0.025	0.116	0.161	0.234	0.306
	<i>pitch</i> (deg)	0.025	0.116	0.161	0.234	0.306
	<i>yaw</i> (deg)	0.011	0.014	0.016	0.019	0.021
330	<i>surge</i> (m)	0.072	0.257	0.294	0.42	0.546
	<i>sway</i> (m)	0.072	0.257	0.294	0.42	0.546
	<i>heave</i> (m)	0.096	0.327	0.069	0.104	0.14
	<i>roll</i> (deg)	0.025	0.116	0.161	0.234	0.306
	<i>pitch</i> (deg)	0.025	0.116	0.161	0.234	0.306
	<i>yaw</i> (deg)	0.011	0.014	0.016	0.019	0.021

Pada saat kondisi 3, yaitu struktur yang bermuatan *Full Load* tertambat dengan konfigurasi sistem tambat *Taut* memiliki nilai respon gerak yang lebih rendah dibandingkan konfigurasi *Catenary*. Hal ini dikarenakan panjang tali yang dipakai pada konfigurasi *Taut* lebih pendek menyebabkan struktur tidak dapat bergerak banyak dibandingkan kondisi (1) dan (2).

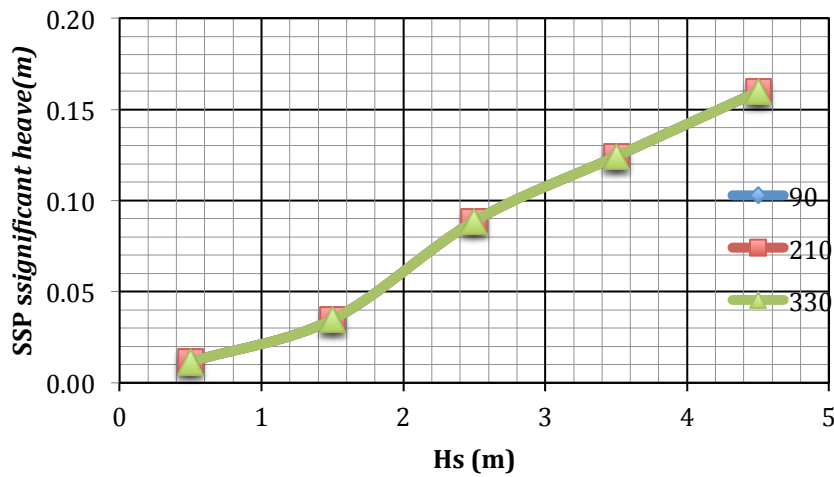


**Gambar 4.51** Respon gerak *surge* SSP *Stand Alone* bermuatan *Full Load* konf. *Taut*

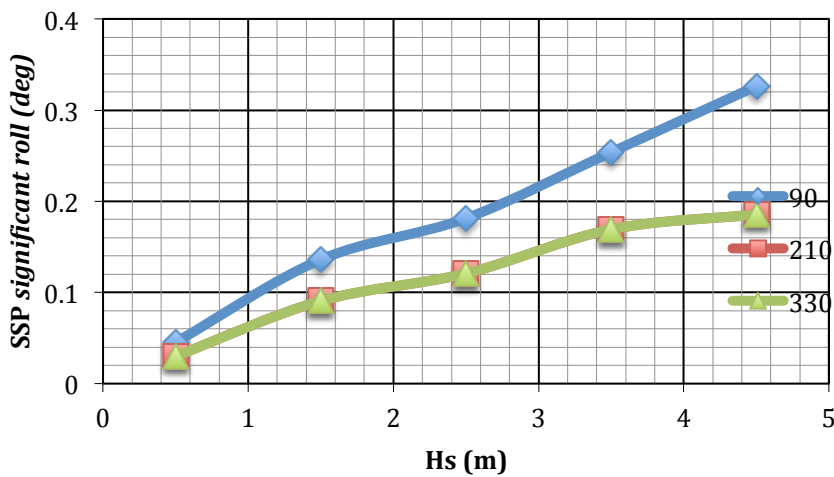


**Gambar 4.52** Respon gerak *sway* SSP *Stand Alone* bermuatan *Full Load* konf. *Taut*

Respon gerak *surge* pada struktur yang mengalami arah pembebanan 90° tidak memiliki nilai yang signifikan dibandingkan struktur yang mengalami respon gerak *surge* pada arah pembebanan 210° dan 330°. Sedangkan pada struktur yang diberikan arah pembebanan 90° mengalami respon gerak *sway* yang paling besar dibandingkan struktur yang diberikan arah pembebanan 210° dan 330°.

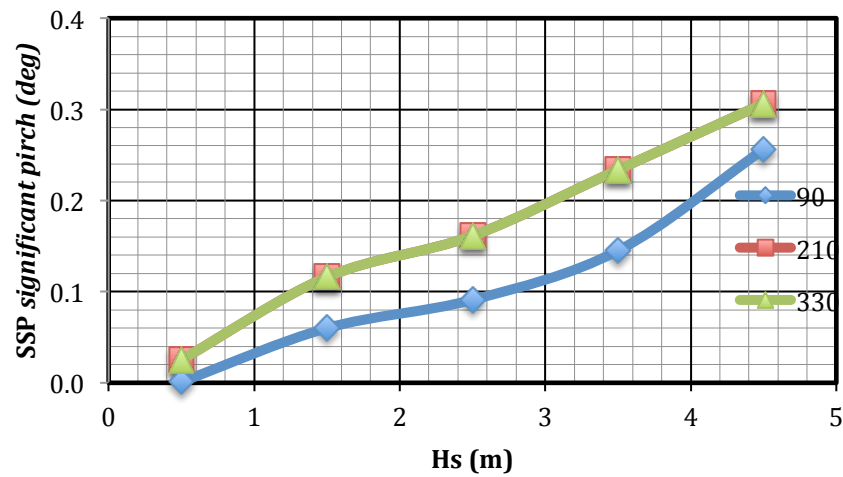


**Gambar 4.53** Respon gerak *heave* SSP *Stand Alone* bermuatan *Full Load* konf. *Taut*

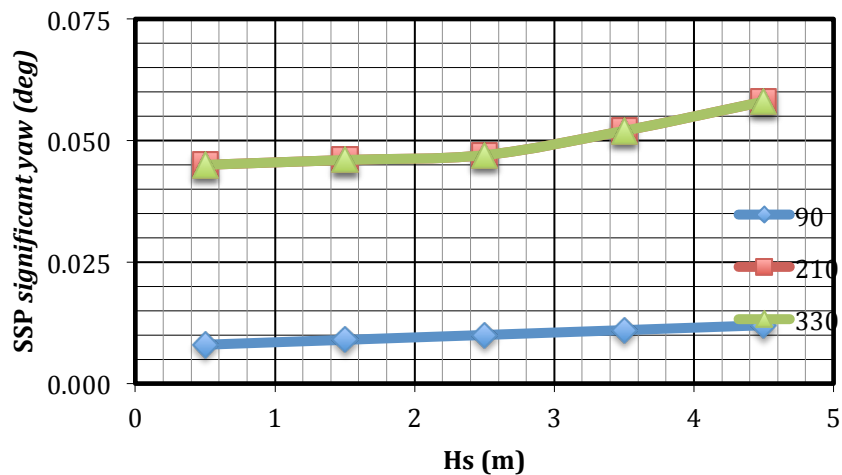


**Gambar 4.54** Respon gerak *roll* SSP *Stand Alone* bermuatan *Full Load* konf. *Taut*

Struktur yang diberikan arah pembebanan  $90^\circ$ ,  $210^\circ$ , dan  $330^\circ$  memiliki respon gerak yang sama untuk respon gerak *heave* dikarenakan bentuk dasar struktur yang berupa silinder. Untuk moda gerak *roll*, struktur yang dikenai arah pembebanan  $90^\circ$  memiliki respon gerak *roll* yang paling besar. Respon gerak *roll* memiliki nilai yang sama pada struktur yang dikenai arah pembebanan  $210^\circ$  dan  $330^\circ$



**Gambar 4.55** Respon gerak *pitch* SSP *Stand Alone* bermuatan *Full Load* konf. *Taut*



**Gambar 4.56** Respon gerak *yaw* SSP *Stand Alone* bermuatan *Full Load* konf. *Taut*

Struktur yang diberikan arah pembebanan 90° tidak memiliki respon gerak *surge* yang signifikan. Sedangkan pada struktur yang diberikan arah pembebanan 210° dan 330° memiliki nilai yang sama untuk respon gerak *pitch* yang meningkat seiring dengan bertambahnya tinggi gelombang signifikan. Sedangkan untuk respon gerak *yaw*, tidak bernilai signifikan pada struktur yang dikenai beban dari segala arah. Kembali lagi, hal ini dikarenakan bentuk dasar struktur yang berupa silinder.

#### 4.5.4 Analisa Respon Gerak SSP pada saat *Stand Alone* Kondisi 4 (SSP bermuatan *Ballast load* dengan konfigurasi *Taut*)

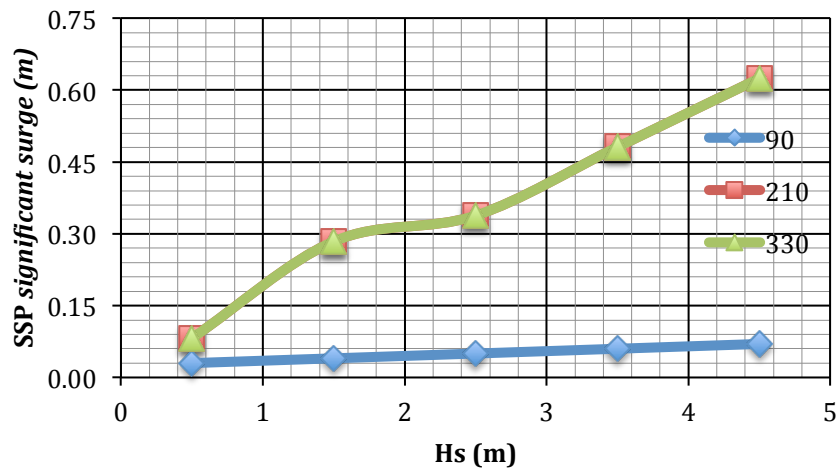
Pada Tabel 4.14 diberikan nilai amplitudo signifikan dari respon gerak struktur dengan konfigurasi sistem tambat *Taut* dengan muatan SSP *Ballast*. Karakteristik respon gerak struktur terhadap beban lingkungan pada kondisi ini dapat dilihat pada Grafik 4.57 hingga Grafik 4.62.

**Tabel 4.14** Nilai amplitudo signifikan SSP kondisi *Ballast load* konfigurasi *Taut*

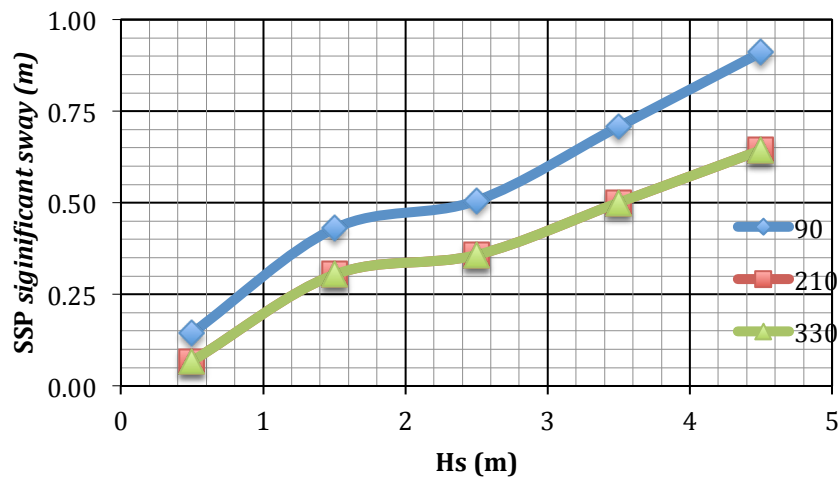
Heading (°)	Nilai amplitudo signifikan					
	Moda Gerak	Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
90	<i>surge</i> (m)	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07
	<i>sway</i> (m)	0.123	0.41	0.486	0.688	0.89
	<i>heave</i> (m)	0.007	0.018	0.108	0.16	0.211
	<i>roll</i> (deg)	0.068	0.244	0.349	0.497	0.644
	<i>pitch</i> (deg)	0.011	0.07	0.101	0.155	0.266
	<i>yaw</i> (deg)	0.01	0.011	0.012	0.013	0.014
210	<i>surge</i> (m)	0.081	0.284	0.338	0.481	0.624
	<i>sway</i> (m)	0.081	0.284	0.337	0.48	0.623
	<i>heave</i> (m)	0.007	0.018	0.108	0.16	0.211
	<i>roll</i> (deg)	0.042	0.167	0.241	0.346	0.45
	<i>pitch</i> (deg)	0.055	0.146	0.191	0.264	0.336
	<i>yaw</i> (deg)	0.013	0.016	0.018	0.021	0.023
330	<i>surge</i> (m)	0.081	0.284	0.338	0.481	0.624
	<i>sway</i> (m)	0.081	0.284	0.338	0.481	0.624
	<i>heave</i> (m)	-0.007	0.018	0.108	0.16	0.211
	<i>roll</i> (deg)	0.042	0.167	0.241	0.346	0.45
	<i>pitch</i> (deg)	0.055	0.146	0.191	0.264	0.336
	<i>yaw</i> (deg)	0.013	0.016	0.018	0.021	0.023

Kondisi 4 adalah kondisi dimana struktur dalam kondisi *Stand Alone* atau tiak melakukan aktivitas *offloading* dan bermuatan *ballast* serta memiliki konfigurasi sistem tambat *Taut*. Berdasarkan hasil penelitian, struktur dengan sistem tambat *Taut* dan bermuatan *ballast* memiliki respon gerak yang lebih besar dibandingkan dengan struktur dengan sistem tambat *Taut* yang bermuatan *Full Load*.



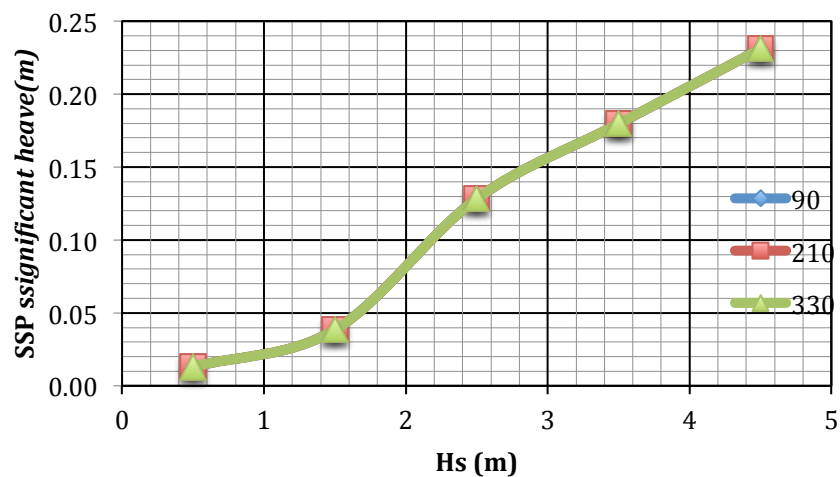


**Gambar 4.57** Respon gerak *surge* SSP *Stand Alone* bermuatan *Ballast load* konf. *Taut*

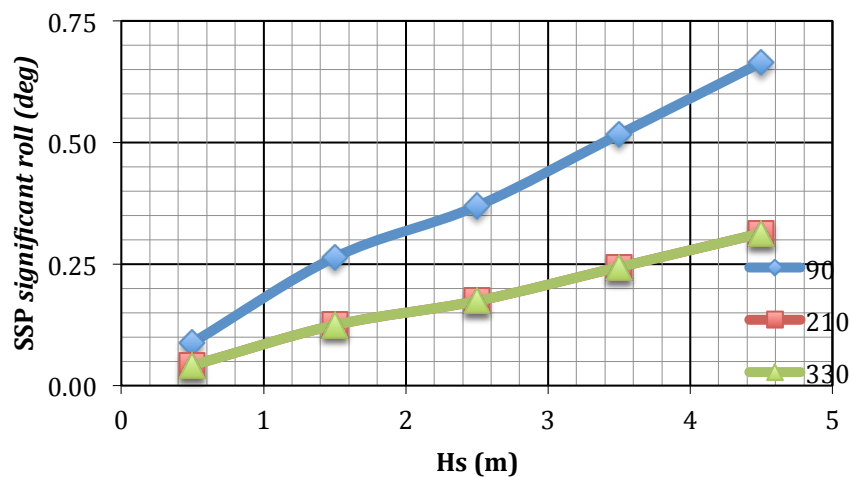


**Gambar 4.58** Respon gerak *sway* SSP *Stand Alone* bermuatan *Ballast load* konf. *Taut*

Struktur yang diberikan arah pembebanan  $90^\circ$  tidak mengalami respon gerak *surge* yang signifikan, berbeda dengan struktur yang diberi arah pembebanan  $210^\circ$  dan  $330^\circ$  yang arah gerak *surgenya* meningkat seiring dengan bertambahnya tinggi gelombang signifikan.

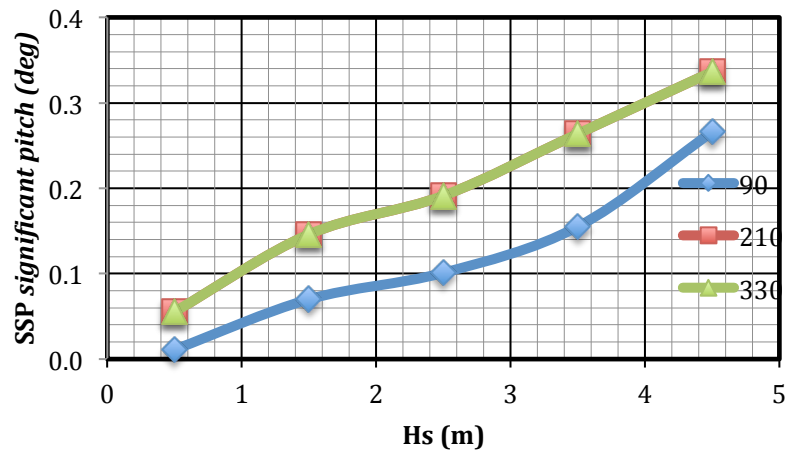


**Gambar 4.59** Respon gerak *heave* SSP *Stand Alone* bermuatan *Ballast load* konf. *Taut*

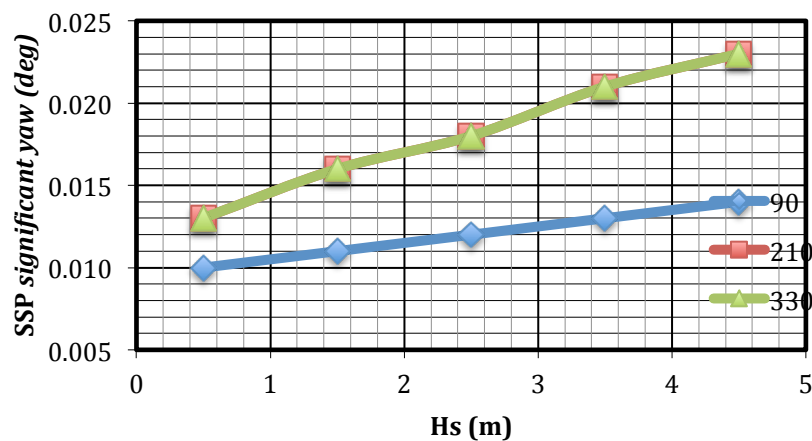


**Gambar 4.60** Respon gerak *roll* SSP *Stand Alone* bermuatan *Ballast load* konf. *Taut*

Respon gerak *heave* yang dialami struktur yang diberikan arah pembebanan  $90^\circ$   $210^\circ$  dan  $330^\circ$  memiliki nilai yang sama dan mengalami kenaikan seiring dengan meningkatnya tinggi gelombang signifikan. Berbeda dengan struktur yang dikenai arah pembebanan  $90^\circ$  memiliki respon gerak *sway* dan *roll* terbesar dibandingkan struktur yang mengalami arah pembebanan  $210^\circ$  dan  $330^\circ$ . Struktur yang dikenai arah pembebanan  $210^\circ$  dan  $330^\circ$ , mengalami respon gerak *pitch* yang sama dan meningkat seiring dengan bertambahnya tinggi gelombang signifikan



**Gambar 4.61** Respon gerak *pitch* SSP *Stand Alone* bermuatan *Ballast load* konf. *Taut*



**Gambar 4.62** Respon gerak *yaw* SSP *Stand Alone* bermuatan *Ballast load* konf. *Taut*

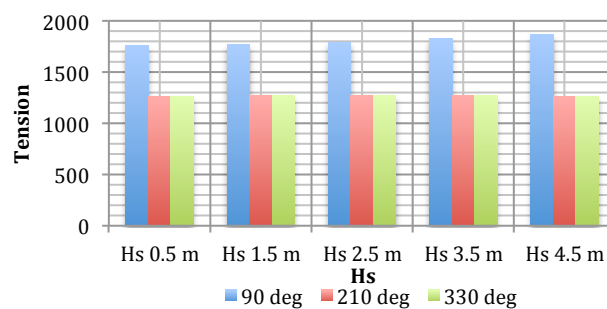
#### 4.5.5 *Tension Mooring Line* pada SSP Kondisi 1 (SSP bermuatan *Full Load* konf. *Catenary*)

Analisis *tension* tali tambat pada struktur yang diamati sangat penting dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem tambat tersebut bekerja. Pada penelitian ini, dilakukan analisis pada 12 tali tambat yang terpasang pada struktur SSP. Pada Tabel 4.15 berikut diberikan nilai *tension* signifikan dari struktur dengan konfigurasi sistem tambat *Catenary* dengan muatan SSP *Full Load*.

**Tabel 4.15** Nilai *tension mooring line* SSP *Stand Alone* bermuatan *Full Load* konf. *Catenary*

Heading	Line	Nilai <i>tension</i> signifikan				
		Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
90°	1	1250.85	1256.66	1260.64	1264.47	1266.97
	2	1250.64	1256.45	1259.43	1261.26	1265.76
	3	1250.62	1257.43	1259.41	1262.24	1265.74
	4	1250.95	1250.76	1255.74	1260.57	1267.07
	5	1250.97	1256.78	1260.76	1264.59	1265.99
	6	1250.76	1256.57	1259.55	1261.38	1264.78
	7	1250.74	1257.55	1259.53	1262.36	1264.76
	8	1251.07	1250.88	1255.86	1260.69	1266.09
	9	1700.85	1706.66	1710.64	1714.47	1872.37
	10	1700.64	1706.45	1709.43	1711.26	1870.24
	11	1700.62	1707.43	1709.41	1712.24	1870.22
	12	1700.95	1700.76	1705.74	1710.57	1870.14
210°	1	1250.87	1256.68	1260.66	1264.49	1266.87
	2	1250.66	1256.47	1259.45	1261.28	1265.66
	3	1250.64	1257.45	1259.43	1262.26	1265.64
	4	1250.97	1250.78	1255.76	1260.59	1266.97
	5	1750.33	1762.2	1779.8	1813.64	1860.04
	6	1748.8	1760.67	1778.27	1812.11	1858.51
	7	1747.47	1759.34	1776.94	1810.78	1857.18
	8	1749.58	1761.42	1779.04	1812.89	1862.38
	9	1250.86	1256.67	1260.65	1264.48	1266.86
	10	1250.65	1256.46	1259.44	1261.27	1265.65
	11	1250.63	1257.44	1259.42	1262.25	1265.63
	12	1250.96	1250.77	1255.75	1260.58	1266.96
330°	1	1751.56	1763.43	1781.03	1814.87	1861.27
	2	1750.03	1761.9	1779.5	1813.34	1859.74
	3	1748.7	1760.57	1778.17	1812.01	1858.41
	4	1750.81	1762.65	1780.27	1814.12	1863.61
	5	1265.85	1268.66	1270.64	1275.47	1366.39
	6	1250.73	1256.54	1260.52	1264.35	1264.64
	7	1250.52	1256.33	1259.31	1261.14	1264.62
	8	1250.5	1257.31	1259.29	1262.12	1265.95
	9	1250.83	1250.64	1255.62	1260.45	1265.83
	10	1250.85	1256.66	1260.64	1264.47	1265.83
	11	1250.64	1256.45	1259.43	1261.26	1265.83
	12	1250.62	1257.43	1259.41	1262.24	1265.83

Pada arah pembebanan  $90^\circ$ , nilai *tension* terbesar berada pada kelompok *line* 9 sampai 12 dengan rentang 1400-1800 kN, dikarenakan arah pembebanan searah dengan translasi pada sumbu Y dan rotasi pada sumbu X yang menyebabkan gerak *pitch* dan *roll* lebih besar dialami struktur ketika berada pada arah pembebanan ini. Pada arah pembebanan  $210^\circ$ , *tension* terbesar dialami pada kelompok *mooring line* 5-8, menyusul kedua adalah kelompok *mooring line* 9-12, dan terakhir kelompok *mooring line* 1-4. Pada Gambar 4.63 berikut ini diberikan tren nilai *tension* yang terjadi pada *mooring line* yang menanggung beban paling besar yaitu *line* 9:



**Gambar 4.63** *Tension* pada *mooring line* 9 pada setiap tinggi gelombang signifikan pada SSP tertambat *Full Load*

*tension mooring line* meningkat seiring dengan meningkatnya tinggi gelombang signifikan yang dikenai struktur. Nilai *safety factor* dari *tension* signifikan pada struktur SSP tertambat dengan kondisi muatan *Full Load* dan konfigurasi *mooring Catenary* dapat dilihat pada tabel 4.16

**Tabel 4.16** Nilai *safety factor* dari *tension* signifikan pada struktur SSP tertambat dengan kondisi muatan *Full Load* *konf. Catenary*

Heading $90^\circ$					
Hs	0.5 m	1.5 m	2.5 m	3.5 m	4.5 m
<i>tension</i>	1700.85	1706.66	1710.64	1714.47	1872.37
SF	7.13	7.11	7.09	7.08	6.57
Heading $210^\circ$					
	0.5 m	1.5 m	2.5 m	3.5 m	4.5 m
<i>tension</i>	1250.86	1256.67	1260.65	1264.48	1266.86
SF	9.18	9.15	9.13	9.10	9.09

**Tabel 4.16** Nilai *safety factor* dari *tension* signifikan pada struktur SSP tertambat dengan kondisi muatan *Full Load* *konf. Catenary* (lanjutan)

<i>Heading 90°</i>					
Hs	0.5 m	1.5 m	2.5 m	3.5 m	4.5 m
<i>tension</i>	1250.83	1250.64	1255.62	1260.45	1265.83
SF	9.18	9.18	9.15	9.13	9.10

Pengecekan nilai *safety factor* yang dilakukan mengacu kepada nilai *tension* terbesar yang terjadi pada setiap arah pembebanan dan setiap tinggi gelombang signifikan. Tabel 4.16 menunjukkan semua SF masuk dalam batas aman yakni  $> 1.67$  sesuai dengan kriteria yang tercantum pada API RP 2SK. Hal ini berarti struktur SSP dalam kondisi muatan *Full Load* dapat beroperasi dengan aman di wilayah Blok Masela.

#### 4.5.6 *Tension Mooring Line* pada SSP Kondisi 2 (SSP bermuatan *Ballast load* *konf. Catenary*)

Berikut diberikan nilai *tension* signifikan dari struktur dengan konfigurasi sistem tambat *Catenary* dengan muatan SSP *Ballast* (Tabel 4.17). Sama halnya dengan kondisi *Full Load*, *tension mooring line* dipengaruhi oleh respon gerak dan beban lingkungan yang diberikannya.

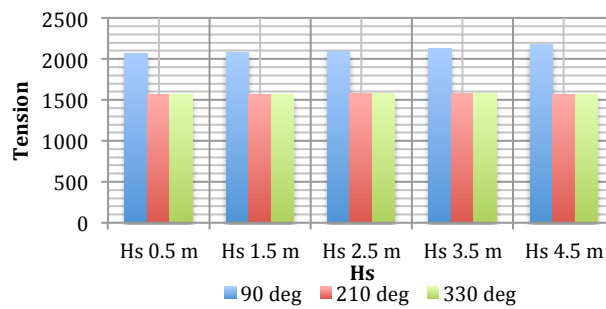
**Tabel 4.17** Nilai *tension mooring line* SSP *Stand Alone* bermuatan *Ballast Load* *konf. Catenary*

<i>Heading</i>	<i>Line</i>	Nilai <i>tension</i> signifikan (kN)				
		Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
90°	1	1561.25	1567.06	1571.04	1574.87	1577.37
	2	1561.04	1566.85	1569.83	1571.66	1576.16
	3	1561.02	1567.83	1569.81	1572.64	1576.14
	4	1561.35	1561.16	1566.14	1570.97	1577.47
	5	1561.37	1567.18	1571.16	1574.99	1576.39
	6	1561.16	1566.97	1569.95	1571.78	1575.18
	7	1561.14	1567.95	1569.93	1572.76	1575.16
	8	1561.47	1561.28	1566.26	1571.09	1576.49
	9	2011.25	2017.06	2021.04	2024.87	2182.77
	10	2011.04	2016.85	2019.83	2021.66	2180.64
	11	2011.02	2017.83	2019.81	2022.64	2180.62
	12	2011.35	2011.16	2016.14	2020.97	2180.54

**Tabel 4.17** Nilai *tension mooring line* SSP Stand Alone bermuatan *Ballast Load* konf. *Catenary* (lanjutan)

Heading	Line	Nilai <i>tension</i> signifikan (kN)				
		Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
210°	1	1561.27	1567.08	1571.06	1574.89	1577.27
	2	1561.06	1566.87	1569.85	1571.68	1576.06
	3	1561.04	1567.85	1569.83	1572.66	1576.04
	4	1561.37	1561.18	1566.16	1570.99	1577.37
	5	2060.73	2072.6	2090.2	2124.04	2170.44
	6	2059.2	2071.07	2088.67	2122.51	2168.91
	7	2057.87	2069.74	2087.34	2121.18	2167.58
	8	2059.98	2071.82	2089.44	2123.29	2172.78
	9	1561.26	1567.07	1571.05	1574.88	1577.26
	10	1561.05	1566.86	1569.84	1571.67	1576.05
	11	1561.03	1567.84	1569.82	1572.65	1576.03
	12	1561.36	1561.17	1566.15	1570.98	1577.36
330°	1	2061.96	2073.83	2091.43	2125.27	2171.67
	2	2060.43	2072.3	2089.9	2123.74	2170.14
	3	2059.1	2070.97	2088.57	2122.41	2168.81
	4	2061.21	2073.05	2090.67	2124.52	2174.01
	5	1576.25	1579.06	1581.04	1585.87	1676.79
	6	1561.13	1566.94	1570.92	1574.75	1575.04
	7	1560.92	1566.73	1569.71	1571.54	1575.02
	8	1560.9	1567.71	1569.69	1572.52	1576.35
	9	1561.23	1561.04	1566.02	1570.85	1576.23
	10	1561.25	1567.06	1571.04	1574.87	1576.23
	11	1561.04	1566.85	1569.83	1571.66	1576.23
	12	1561.02	1567.83	1569.81	1572.64	1576.23

Pada kondisi *ballast*, *tension mooring line* terbesar pada arah pembebanan 90° berada pada kelompok *mooring line* 9-12, kemudian menyusul kelompok *mooring line* 5-8, dan menjadikan kelompok *mooring line* 1-4 dengan nilai *tension* terendah. Pada arah pembebanan 210°, nilai *tension* terbesar berada pada kelompok *mooring line* 5-8, kemudian kelompok *mooring line* 1-4. Pada arah pembebanan 330°, nilai *tension* terbesar berada pada kelompok *mooring line* 1-4, menyusul terbesar kedua adalah kelompok *mooring line* 5-8, dan yang terakhir adalah kelompok *mooring line* 9-12, seperti pada tren pada Gambar 4.64.



**Gambar 4.64** *Tension pada mooring line 9 pada setiap tinggi gelombang signifikan pada SSP bermuatan Ballast Load kondisi Stand Alone*

Nilai *safety factor* dari *tension* signifikan pada struktur SSP tertambat dengan kondisi muatan *ballast* dan konfigurasi *mooring Catenary* dapat dilihat pada tabel 4.18:

**Tabel 4.18** Nilai *safety factor* dari *tension* signifikan pada struktur SSP tertambat dengan kondisi muatan *Ballast load* konf. *Catenary*

Heading 90°					
Hs	0.5 m	1.5 m	2.5 m	3.5 m	4.5 m
tension	2011.25	2017.06	2021.04	2024.87	2182.77
SF	7.13	7.11	7.09	7.08	6.57
Heading 210°					
	0.5 m	1.5 m	2.5 m	3.5 m	4.5 m
tension	1561.26	1567.07	1571.05	1574.88	1577.26
SF	9.18	9.15	9.13	9.10	9.09
Heading 330°					
	0.5 m	1.5 m	2.5 m	3.5 m	4.5 m
tension	1561.23	1561.04	1566.02	1570.85	1576.23
SF	9.18	9.18	9.15	9.13	9.10

Pengecekan nilai *safety factor* yang dilakukan mengacu kepada nilai *tension* terbesar yang terjadi pada setiap arah pembebanan dan setiap tinggi gelombang signifikan yang terjadi. Tabel 4.18 menunjukkan semua masuk dalam batas aman yakni  $> 1.67$  sesuai dengan kriteria yang tercantum pada API RP 2SK. Hal ini berarti struktur SSP dalam kondisi muatan *ballast* dapat beroperasi dengan aman di wilayah Blok Masela.



#### 4.5.7 *Tension Mooring Line* pada SSP Kondisi 3 (SSP bermuatan *Full Load* konf. *Taut*)

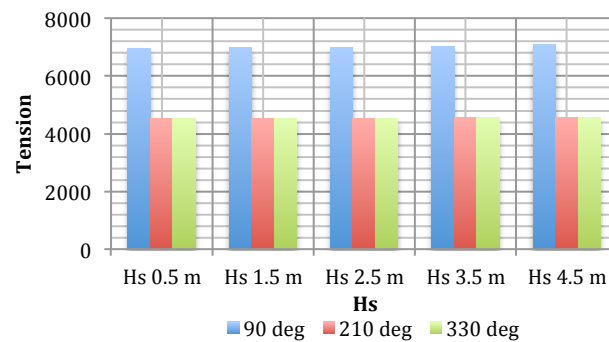
Secara umum *tension* pada *mooring line* pada konfigurasi *Catenary* dan *Taut* akan mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya tinggi gelombang signifikan dan berkurangnya muatan hidrokarbon di dalam struktur. Pada Tabel 4.19 berikut diberikan tabulasi nilai *tension* signifikan yang dialami oleh *mooring line* pada kondisi ini, dan diwakilkan oleh line 9 pada Gambar 4.65 yang memiliki *tension* terbesar.

**Tabel 4.19** Nilai *tension mooring line* SSP *Stand Alone* bermuatan *Full Load* konf. *Taut*

Heading	Line	Nilai <i>tension</i> signifikan (kN)				
		Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
90°	1	4306.77	4321.69	4332.77	4341.24	4343.56
	2	4305.74	4320.66	4331.74	4340.21	4342.53
	3	4300.95	4322.98	4339.41	4352.01	4355.65
	4	4302.82	4325.89	4343.1	4356.31	4360.14
	5	4306.78	4321.7	4332.78	4341.25	4343.57
	6	4305.75	4320.67	4331.75	4340.22	4342.54
	7	4300.96	4322.99	4339.42	4352.02	4355.66
	8	4302.83	4325.9	4343.11	4356.32	4360.15
	9	6968.12	6978.97	7002.91	7036.99	7082.14
	10	6966.81	6977.66	7001.6	7035.68	7080.83
	11	6966.79	6977.64	7001.58	7035.66	7080.81
	12	6967.82	6978.67	7002.61	7036.69	7081.84
210°	1	4518.81	4533.74	4544.82	4553.29	4555.61
	2	4517.5	4532.43	4543.51	4551.98	4554.3
	3	4517.47	4532.4	4543.48	4551.95	4554.27
	4	4518.67	4533.6	4544.68	4553.15	4555.47
	5	6953.81	6964.66	6988.6	7022.68	7067.83
	6	6953.83	6964.68	6988.62	7022.7	7067.85
	7	6953.84	6964.69	6988.63	7022.71	7067.86
	8	6955.07	6965.92	6989.86	7023.94	7069.09
	9	4518.79	4533.72	4544.8	4553.27	4555.59
	10	4517.48	4532.41	4543.49	4551.96	4554.28
	11	4517.45	4532.38	4543.46	4551.93	4554.25
	12	4518.65	4533.58	4544.66	4553.13	4555.45

**Tabel 4.19** Nilai *tension mooring line* SSP *Stand Alone* bermuatan *Full Load* konf. *Taut* (lanjutan)

Heading	Line	Nilai <i>tension</i> signifikan (kN)				
		Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
330°	1	6956.12	6957.12	6958.12	6959.12	6960.12
	2	6948.82	6948.82	6948.82	6948.82	6948.82
	3	6947.82	6947.82	6947.82	6947.82	6947.82
	4	6954.53	6955.53	6956.53	6957.53	6958.53
	5	4518.81	4533.74	4544.82	4553.29	4555.61
	6	4517.5	4532.43	4543.51	4551.98	4554.3
	7	4517.47	4532.4	4543.48	4551.95	4554.27
	8	4518.67	4533.6	4544.68	4553.15	4555.47
	9	4518.79	4533.72	4544.8	4553.27	4555.59
	10	4517.48	4532.41	4543.49	4551.96	4554.28
	11	4517.45	4532.38	4543.46	4551.93	4554.25
	12	4518.65	4533.58	4544.66	4553.13	4555.45



**Gambar 4.65** *Tension* pada *mooring line* 9 pada setiap tinggi gelombang signifikan pada SSP bermuatan *Full Load* kondisi *Stand Alone*

Nilai *safety factor* dari *tension* signifikan pada struktur SSP tertambat dengan kondisi muatan *Full Load* dan konfigurasi *mooring Taut* dapat dilihat pada tabel 4.20

**Tabel 4.20** Nilai *safety factor* dari *tension* signifikan pada struktur SSP tertambat dengan kondisi muatan *Full Load* konf. *Taut*

Heading 90°					
Hs	0.5 m	1.5 m	2.5 m	3.5 m	4.5 m
<i>tension</i>	6968.12	6978.97	7002.91	7036.99	7082.14
SF	2.06	2.05	2.05	2.04	2.02

**Tabel 4.20** Nilai *safety factor* dari *tension* signifikan pada struktur SSP tertambat dengan kondisi muatan *Full Load* konf. *Taut* (lanjutan)

Heading 210°					
Hs	0.5 m	1.5 m	2.5 m	3.5 m	4.5 m
<i>tension</i>	4518.79	4533.72	4544.8	4553.27	4555.59
SF	3.17	3.16	3.15	3.15	3.15
Heading 330°					
Hs	0.5 m	1.5 m	2.5 m	3.5 m	4.5 m
<i>tension</i>	4518.79	4533.72	4544.8	4553.27	4555.59
SF	3.17	3.16	3.15	3.15	3.15

Pengecekan nilai *safety factor* yang dilakukan mengacu kepada nilai *tension* terbesar yang terjadi pada setiap arah pembebanan dan setiap tinggi gelombang signifikan yang terjadi. Tabel 4.20 menunjukkan semua masuk dalam batas aman yakni  $> 1.67$  sesuai dengan kriteria yang tercantum pada API RP 2SK. Hal ini berarti struktur SSP dalam kondisi muatan *Full Load* dapat beroperasi dengan aman di wilayah Blok Masela.

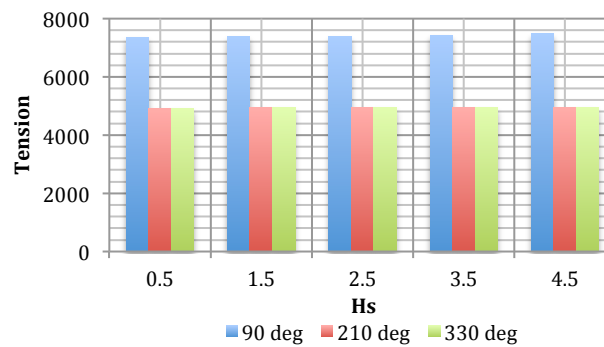
#### 4.5.8 *Tension Mooring Line* pada SSP Kondisi 4 (SSP bermuatan *Ballast load* konf. *Taut*)

Pada arah pembebanan 210°, kelompok *mooring line* yang memiliki nilai *tension* yang paling besar adalah kelompok *mooring line* 5-8, kemudian kelompok *mooring line* 9-12, dan yang terakhir kelompok *mooring line* 1-4. Pada arah pembebanan 90°, kelompok *mooring line* yang mengalami *tension* paling besar adalah kelompok *mooring line* 9-12. Respon gerak *sway* dan rotasi pada sumbu X menyebabkan kelompok *mooring line* 9-12 memiliki nilai *tension* yang jauh lebih besar dibandingkan kelompok *tension mooring line* 5-8 dan 1-4. Untuk arah pembebanan 330°, kelompok *mooring line* yang memiliki *tension* paling besar adalah kelompok *mooring line* 1-4, kemudian kelompok *mooring line* 5-8, dan kelompok *mooring line* 9-12.

Pada Tabel 4.21 diberikan tabulasi nilai *tension* signifikan dari struktur dengan konfigurasi sistem tambat *Taut* dengan muatan SSP *Ballast*, dan diwakilkan oleh *mooring line* 9 pada Gambar 4.66 yang memiliki *tension* terbesar.

**Tabel 4.21** Nilai *tension mooring line* SSP *Stand Alone* bermuatan *Ballast Load* konf. *Taut*

Heading	Line	Nilai <i>tension</i> signifikan (kN)				
		Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
90°	1	4706.77	4721.69	4732.77	4741.24	4743.56
	2	4705.74	4720.66	4731.74	4740.21	4742.53
	3	4700.95	4722.98	4739.41	4752.01	4755.65
	4	4702.82	4725.89	4743.1	4756.31	4760.14
	5	4706.78	4721.7	4732.78	4741.25	4743.57
	6	4705.75	4720.67	4731.75	4740.22	4742.54
	7	4700.96	4722.99	4739.42	4752.02	4755.66
	8	4702.83	4725.9	4743.11	4756.32	4760.15
	9	7368.12	7378.97	7402.91	7436.99	7482.14
	10	7366.81	7377.66	7401.6	7435.68	7480.83
	11	7366.79	7377.64	7401.58	7435.66	7480.81
	12	7367.82	7378.67	7402.61	7436.69	7481.84
210°	1	4918.81	4933.74	4944.82	4953.29	4955.61
	2	4917.5	4932.43	4943.51	4951.98	4954.3
	3	4917.47	4932.4	4943.48	4951.95	4954.27
	4	4918.67	4933.6	4944.68	4953.15	4955.47
	5	7353.81	7364.66	7388.6	7422.68	7467.83
	6	7353.83	7364.68	7388.62	7422.7	7467.85
	7	7353.84	7364.69	7388.63	7422.71	7467.86
	8	7355.07	7365.92	7389.86	7423.94	7469.09
	9	4918.79	4933.72	4944.8	4953.27	4955.59
	10	4917.48	4932.41	4943.49	4951.96	4954.28
	11	4917.45	4932.38	4943.46	4951.93	4954.25
	12	4918.65	4933.58	4944.66	4953.13	4955.45
330°	1	7356.12	7357.12	7358.12	7359.12	7360.12
	2	7348.82	7348.82	7348.82	7348.82	7348.82
	3	7347.82	7347.82	7347.82	7347.82	7347.82
	4	7354.53	7355.53	7356.53	7357.53	7358.53
	5	4918.81	4933.74	4944.82	4953.29	4955.61
	6	4917.5	4932.43	4943.51	4951.98	4954.3
	7	4917.47	4932.4	4943.48	4951.95	4954.27
	8	4918.67	4933.6	4944.68	4953.15	4955.47
	9	4918.79	4933.72	4944.8	4953.27	4955.59
	10	4917.48	4932.41	4943.49	4951.96	4954.28
	11	4917.45	4932.38	4943.46	4951.93	4954.25
	12	4918.65	4933.58	4944.66	4953.13	4955.45



**Gambar 4.66** *Tension* pada *mooring line* 9 pada setiap tinggi gelombang signifikan pada SSP bermuatan *Full Load* kondisi *Stand Alone*

Pada gambar 4.66 ditampilkan tren *mooring line* 9 yang memiliki nilai *tension* yang paling besar. Dapat dilihat bahwa *mooring line* memiliki nilai terbesar pada arah pembebanan 90°, dan memiliki nilai *tension* yang hampir sama untuk arah pembebanan 210° dan 330°.

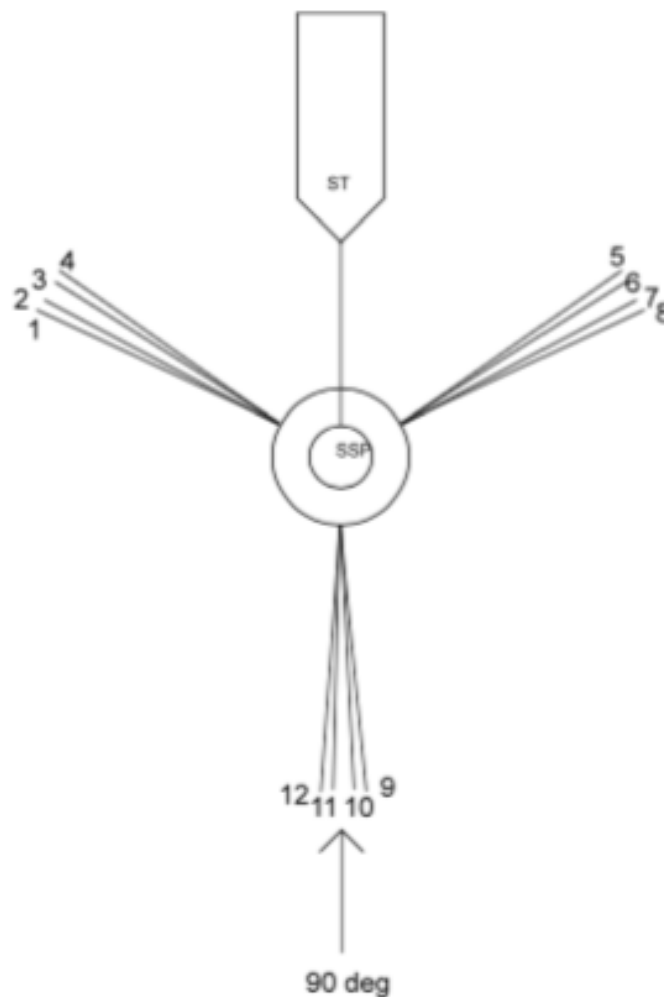
**Tabel 4.22** Nilai *safety factor* dari *tension* signifikan pada struktur SSP tertambat dengan kondisi muatan *Ballast load* konf. *Taut*

Heading 90°					
Hs	0.5 m	1.5 m	2.5 m	3.5 m	4.5 m
<i>tension</i>	7368.12	7378.97	7402.91	7436.99	7482.14
SF	1.95	1.94	1.94	1.93	1.92
Heading 210°					
Hs	0.5 m	1.5 m	2.5 m	3.5 m	4.5 m
<i>tension</i>	4918.79	4933.72	4944.8	4953.27	4955.59
SF	2.91	2.91	2.90	2.89	2.89
Heading 330°					
Hs	0.5 m	1.5 m	2.5 m	3.5 m	4.5 m
<i>tension</i>	4918.79	4933.72	4944.8	4953.27	4955.59
SF	2.91	2.91	2.90	2.89	2.89

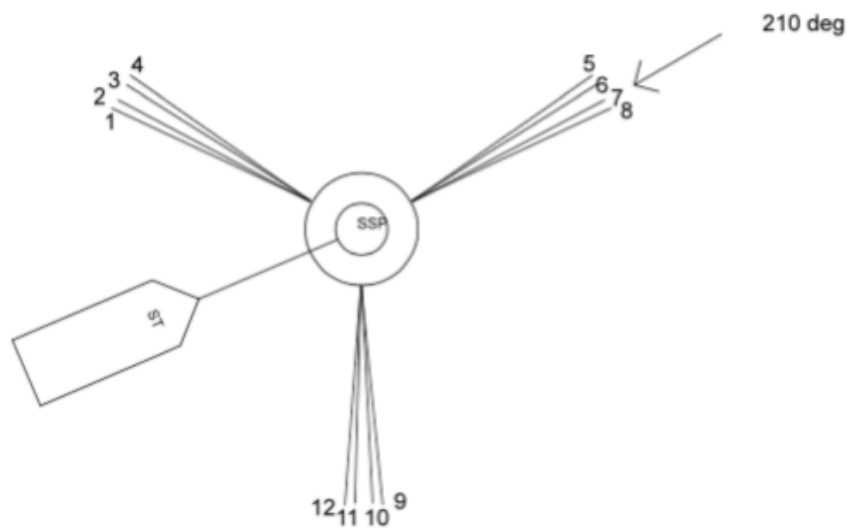
Pengecekan nilai *safety factor* yang dilakukan mengacu kepada nilai *tension* terbesar yang terjadi pada setiap arah pembebanan dan setiap tinggi gelombang signifikan yang terjadi. Tabel 4.22 menunjukkan semua masuk dalam batas aman yakni  $> 1.67$  sesuai dengan kriteria yang tercantum pada API RP 2SK. Hal ini berarti struktur SSP dalam kondisi muatan *ballast* dapat beroperasi dengan aman di wilayah Blok Masela.

#### 4.6 KARAKTERISTIK GERAK STRUKTUR DAN *TENSION MOORING LINE* PADA *OFFLOADING TANDEM*

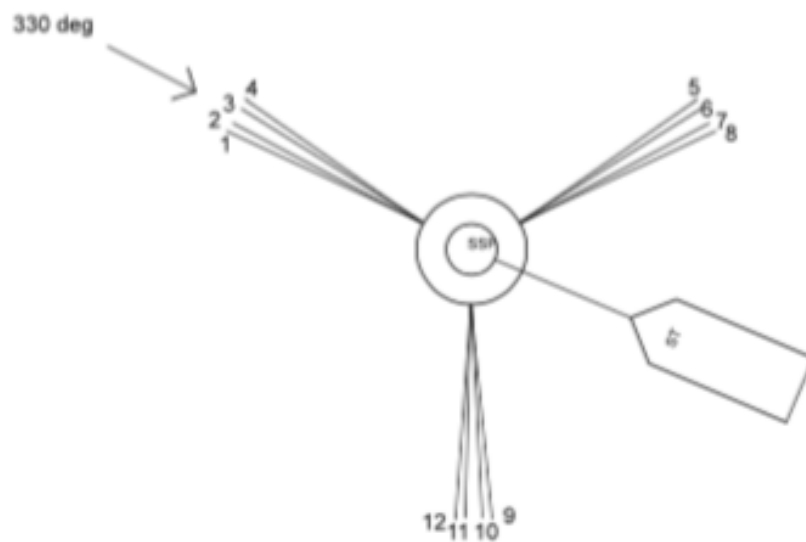
Pada gambar 4.67 hingga 4.69 diberikan konfigurasi-konfigurasi arah datang *Shuttle Tanker* dan arah datang pembebanan lingkungan. *Shuttle Tanker* tertambat secara *tandem* dengan SSP dan memiliki konfigurasi sistem tambat *Catenary* dan *mooring*. Rangkuman skenario penelitian diberikan pada Tabel 4.23 hingga Tabel 4.25.



**Gambar 4.67** *Tandem offloading* dengan arah pembebanan  $90^\circ$



**Gambar 4.68** *Tandem offloading* dengan arah pembebanan  $210^{\circ}$



**Gambar 4.69** *Tandem offloading* dengan arah pembebanan  $330^{\circ}$

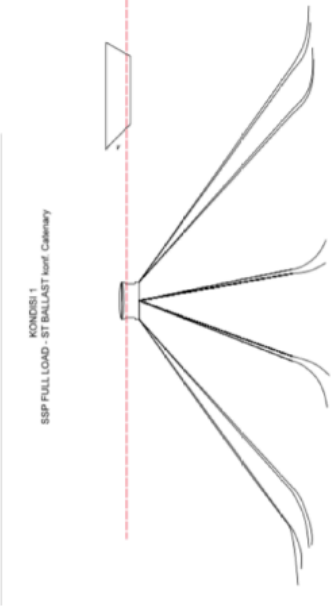
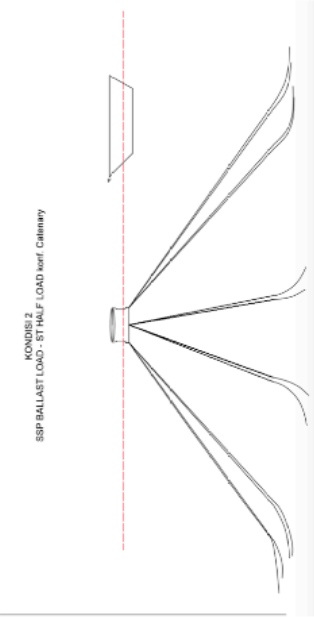
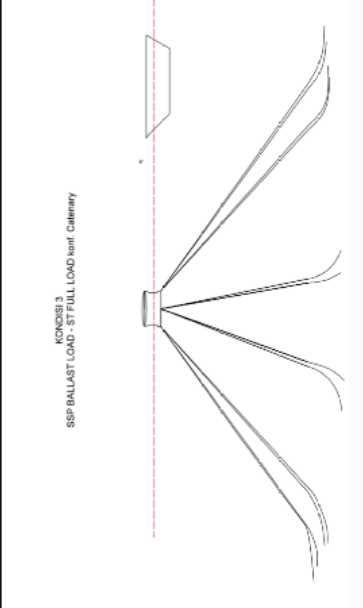
**Tabel 4.23** Skenario penelitian kondisi *offloading*

Konfigurasi	No.	Muatan SSP	Muatan ST	Arah pembebanan (°)	Hs (m)
<i>Catenary</i>	1	<i>Full Load</i>	<i>Ballast load</i>	90, 210, 330	0.5, 1.5, 2.5, 3.5 4.5
	2	<i>Ballast load</i>	<i>Half Load</i>		
	3	<i>Ballast load</i>	<i>Full Load</i>		
<i>Taut</i>	4	<i>Full Load</i>	<i>Ballast load</i>		
	5	<i>Ballast load</i>	<i>Half Load</i>		
	6	<i>Ballast load</i>	<i>Full Load</i>		

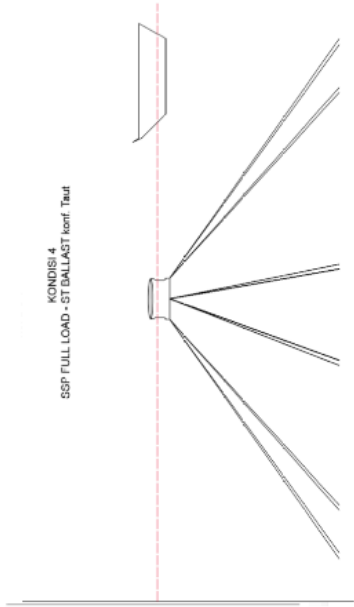
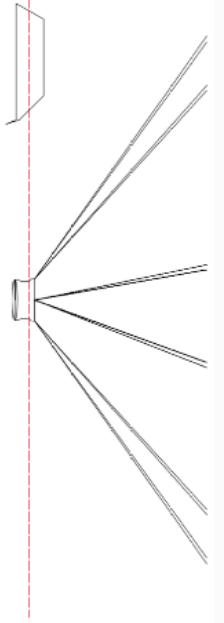
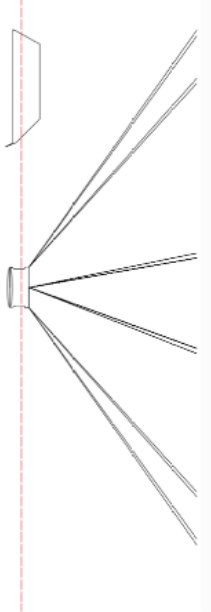
Sama seperti poin sebelumnya, skenario penelitian pertama akan dibagi berdasarkan 2 konfigurasi *mooring* yaitu *Taut* dan *Catenary*, yang kemudian tiap konfigurasi akan dibagi lagi berdasarkan muatan yaitu pada saat *Shuttle Tanker* bermuatan *ballast* – SSP *Full Load*, *Shuttle Tanker Half Load* – SSP *Ballast load*, dan pada saat *Shuttle Tanker* bermuatan *Full Load* – SSP *ballast*. Kemudian dilanjutkan dengan memposisikan *Shuttle Tanker* pada 3 sudut yaitu 30°, 150°, dan 270° dengan arah pembebanan 90°, 210°, dan 330°. Terakhir, diberikan beban lingkungan berupa gelombang dengan tinggi Hs sebesar 0.5 m, 1.5 m, 2.5 m, 3.5 m, dan 4.5 m



Tabel 4.24 Ilustrasi kondisi

Kondisi	konfigurasi	Muatan		Ilustrasi
		FPSO Sevan	Shuttle tanker	
1	Catenary	Full Load	Ballast Load	<p>KONDISI 1 SSP FULL LOAD - ST BALLAST konf. Catenary</p> 
2		Ballast load	Half load	<p>KONDISI 2 SSP BALLAST LOAD - ST HALF LOAD konf. Catenary</p> 
3		Ballast load	Full load	<p>KONDISI 3 SSP BALLAST LOAD - ST FULL LOAD konf. Catenary</p> 

**Tabel 4.25 Ilustrasi kondisi**

Kondisi	konfigurasi	Muatan		Ilustrasi
		FPSO Sevan	Shuttle tanker	
4	Taut	Full Load	Ballast Load	 <p>KONDISI 4 SSP FULL LOAD - ST BALLAST konf. Taut</p>
5		Ballast load	Half load	 <p>KONDISI 5 SSP BALLAST LOAD - ST HALF LOAD konf. Taut</p>
6		Ballast load	Full load	 <p>KONDISI 6 SSP BALLAST LOAD - ST FULL LOAD konf. Taut</p>

4.6.1 Respon Gerak Struktur pada saat *Offloading* Kondisi 1 (FPSO bermuatan *Full Load – Shuttle Tanker ballast* dengan konfigurasi *Catenary*)

Pada Tabel 4.26 dan Tabel 4.27 berikut dilampirkan nilai amplitudo signifikan dari respon gerak struktur dengan konfigurasi sistem tambat *Catenary* dengan muatan SSP *Full Load – ST ballast*.

**Tabel 4.26** Nilai amplitudo signifikan SSP *Full Load*

Heading (°)	Nilai amplitudo signifikan					
	Moda Gerak	Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
210	<i>surge</i> (m)	1.005	1.215	1.258	1.401	1.544
	<i>sway</i> (m)	0.762	0.885	0.91	0.993	1.077
	<i>heave</i> (m)	0.589	0.616	0.624	0.66	0.847
	<i>roll</i> (deg)	0.712	0.747	0.739	0.783	0.97
	<i>pitch</i> (deg)	0.84	1.071	0.813	0.848	0.884
	<i>yaw</i> (deg)	0.962	1.085	1.11	1.193	1.277
330	<i>surge</i> (m)	1.006	1.217	1.259	1.402	1.545
	<i>sway</i> (m)	0.763	0.886	0.911	0.995	1.078
	<i>heave</i> (m)	0.59	0.617	0.625	0.661	0.848
	<i>roll</i> (deg)	0.74	0.972	0.713	0.749	0.784
	<i>pitch</i> (deg)	0.841	1.073	0.814	0.85	0.885
	<i>yaw</i> (deg)	0.963	1.086	1.111	1.195	1.278
90	<i>surge</i> (m)	0.71	0.745	0.791	0.81	0.909
	<i>sway</i> (m)	1.131	1.392	1.445	1.622	1.8
	<i>heave</i> (m)	0.704	0.714	0.719	0.769	0.789
	<i>roll</i> (deg)	1.564	1.692	1.756	1.859	1.962
	<i>pitch</i> (deg)	0.606	0.63	0.678	0.69	0.74
	<i>yaw</i> (deg)	0.638	0.666	0.696	0.704	0.913

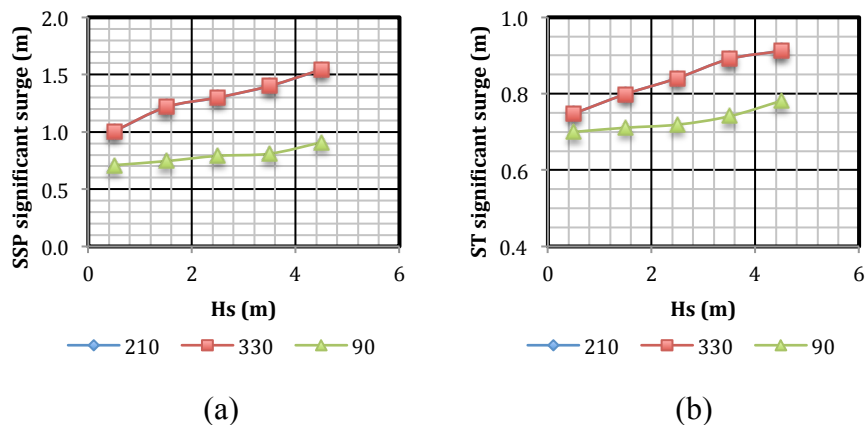
**Tabel 4.27** Nilai amplitudo signifikan *Shuttle Tanker* bermuatan *Ballast load*

Heading (°)	Nilai amplitudo signifikan					
	Moda Gerak	Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
210	<i>surge</i> (m)	0.748	0.799	0.841	0.891	0.912
	<i>sway</i> (m)	0.912	0.933	1.112	1.317	1.511
	<i>heave</i> (m)	0.818	1.254	1.342	1.509	1.769
	<i>roll</i> (deg)	1.11	1.15	1.26	1.291	1.599
	<i>pitch</i> (deg)	0.788	0.899	0.918	1.022	1.134
	<i>yaw</i> (deg)	1.84	2.032	2.314	2.42	2.598

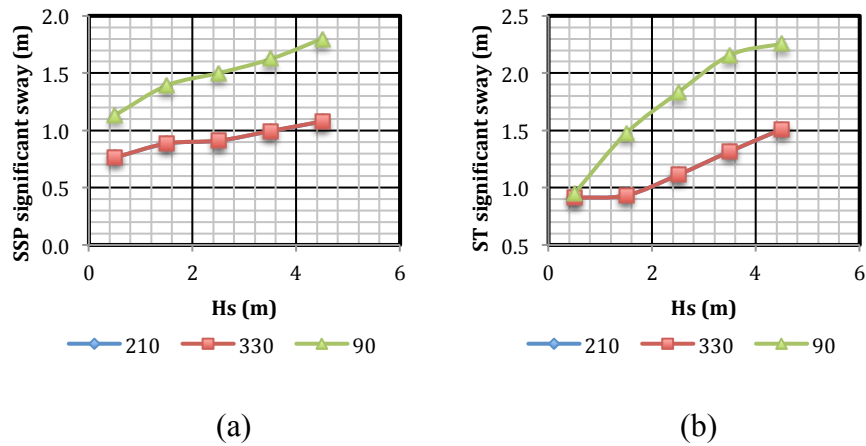
**Tabel 4.27** Nilai amplitudo signifikan *Shuttle Tanker* bermuatan *Ballast load* (lanjutan)

Heading ( $^{\circ}$ )	Nilai amplitudo signifikan					
	Moda Gerak	Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
330	<i>surge</i> (m)	0.748	0.799	0.841	0.891	0.912
	<i>sway</i> (m)	0.912	0.933	1.112	1.317	1.511
	<i>heave</i> (m)	0.818	1.254	1.342	1.509	1.769
	<i>roll</i> (deg)	1.11	1.15	1.26	1.291	1.599
	<i>pitch</i> (deg)	0.788	0.899	0.918	1.022	1.134
	<i>yaw</i> (deg)	1.84	2.032	2.314	2.42	2.598
90	<i>surge</i> (m)	0.7	0.711	0.719	0.741	0.781
	<i>sway</i> (m)	0.951	1.476	1.831	2.157	2.257
	<i>heave</i> (m)	0.818	1.249	1.254	1.509	1.769
	<i>roll</i> (deg)	1.378	1.579	1.832	1.932	2.151
	<i>pitch</i> (deg)	0.666	0.79	0.899	0.927	0.942
	<i>yaw</i> (deg)	0.874	1.488	1.701	1.911	2.087

Kondisi perbandingan respon gerak struktur SSP dan *Shuttle Tanker* pada setiap moda gerak dapat dilihat pada Gambar 4.70 hingga Gambar 4.75.

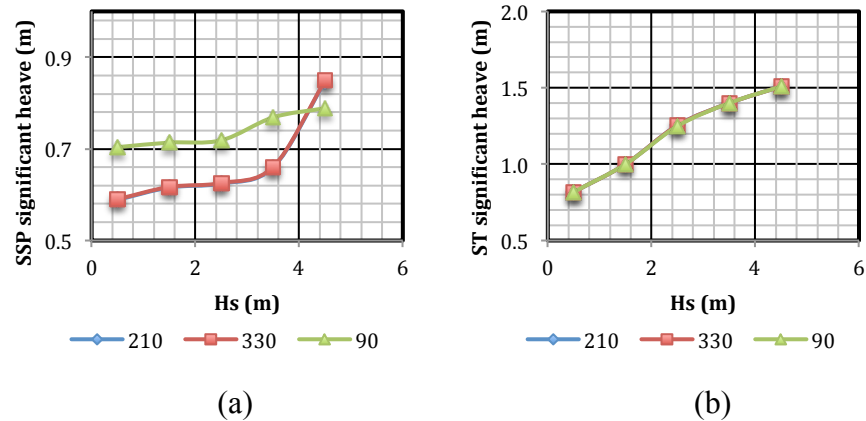


**Gambar 4.70** Respon gerak *surge* SSP (a) dan *Shuttle Tanker* (b) pada kondisi *offloading* SSP Full Load – *Shuttle Tanker* ballast

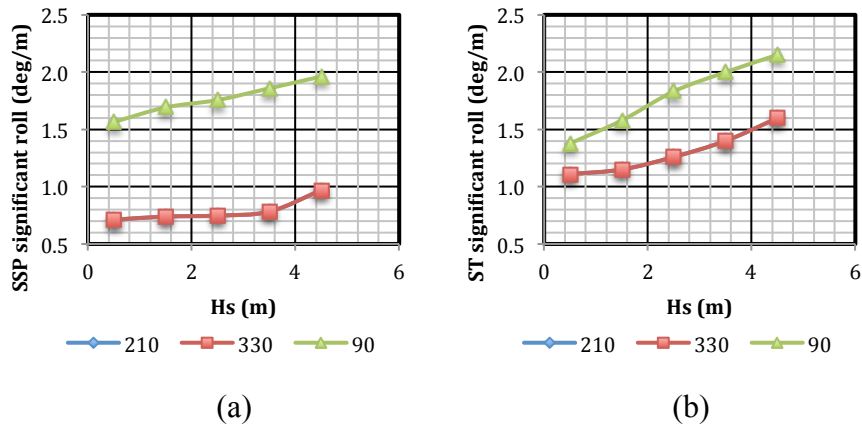


**Gambar 4.71** Respon gerak *sway* SSP (a) dan *Shuttle Tanker* (b) pada kondisi *offloading SSP Full Load – Shuttle Tanker ballast*

Pada sistem *tandem offloading* dalam kondisi *SSP Full Load – Shuttle Tanker ballast* ini, arah pembebanan 90° memberikan pengaruh gerak pada struktur yang lebih kecil dibandingkan arah pembebanan 210° dan 330°. Pada arah pembebanan 90°, respon gerak *sway* pada struktur didapati paling besar, di antara moda gerak lainnya. Hal ini masuk akal, karena arah pembebanan 90° searah dengan arah translasi pada sudut Y.

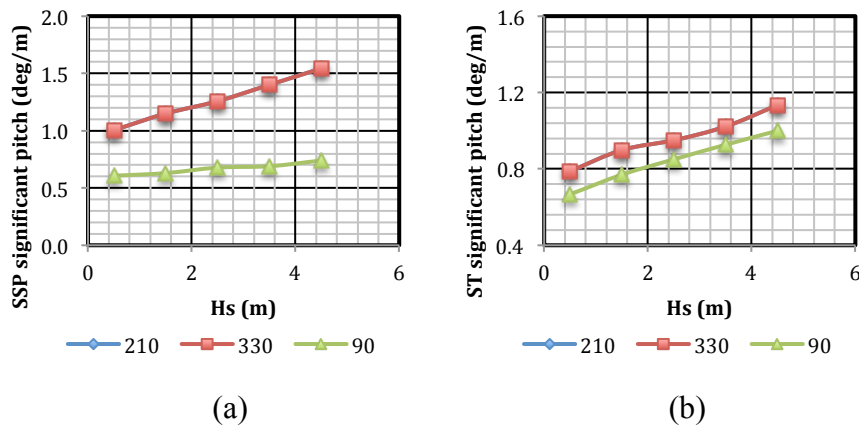


**Gambar 4.72** Respon gerak *heave* SSP (a) dan *Shuttle Tanker* (b) pada kondisi *offloading SSP Full Load – Shuttle Tanker ballast*

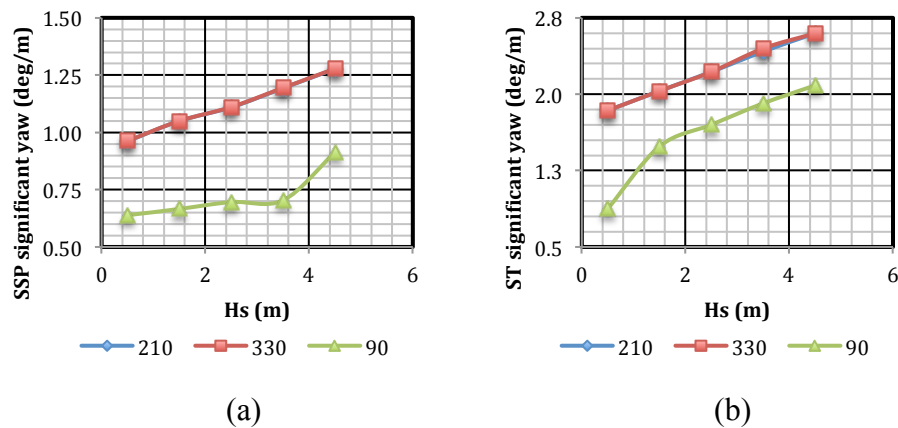


**Gambar 4.73** Respon gerak *roll* SSP (a) dan *Shuttle Tanker* (b) pada kondisi *offloading SSP Full Load – Shuttle Tanker ballast*

Respon gerak *heave* terbesar pada sistem *tandem offloading* kondisi ini terjadi pada arah pembebanan 90°, sedangkan pada sudut 210° dan 330° cenderung memberikan nilai pererakan yang hampir sama. Sama dengan moda gerak *surge*, moda gerak *roll* terbesar terjadi pada arah pembebanan 90°.



**Gambar 4.74** Respon gerak *pitch* SSP (a) dan *Shuttle Tanker* (b) pada kondisi *offloading SSP Full Load – Shuttle Tanker ballast*



**Gambar 4.75** Respon gerak *sway* SSP (a) dan *Shuttle Tanker* (b) pada kondisi *offloading* SSP Full Load – *Shuttle Tanker* ballast

Nilai respon gerak *yaw* pada SSP cenderung lebih kecil dibandingkan respon gerak pada *Shuttle Tanker*. Hal ini disebabkan karena *Shuttle Tanker* memiliki luas penampang terhadap arah pembebanan lebih panjang dan lebih lebar dibanding SSP yang memiliki bentuk dasar silinder. Respon gerak *yaw* dialami lebih kecil oleh struktur pada arah pembebanan 90°.

#### 4.6.2 Respon Gerak Struktur pada saat *Offloading* Kondisi 2 (FPSO bermuatan *Ballast load – Shuttle Tanker Half Load* dengan konfigurasi *Catenary*)

Secara umum, respon gerak kondisi 2 sama dengan kondisi 1. Respon gerak SSP bertambah seiring dengan berkurangnya muatan hidrokarbon di dalam struktur. Sebaliknya, respon gerak *Shuttle Tanker* berkurang seiring dengan bertambahnya muatan hidrokarbon di dalam struktur. Analisis dan pembahasan respon gerak pada kondisi 2 tidak lagi dijelaskan pada kondisi 1, tetapi tabulasi respon gerak akan penulis tampilkan (Tabel 4.28 hingga 4.29). Kondisi perbandingan respon gerak struktur SSP dan *Shuttle Tanker* pada setiap moda gerak dapat dilihat pada Gambar 4.76 hingga Gambar 4.81.

**Tabel 4.28** Nilai amplitudo signifikan SSP *Ballast load*

Heading (°)	Nilai amplitudo signifikan					
	Moda Gerak	Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
210	<i>surge</i> (m)	1.055	1.715	1.77	1.801	1.844
	<i>sway</i> (m)	0.862	0.905	1.01	1.073	1.177
	<i>heave</i> (m)	0.816	0.989	1.124	1.16	1.317
	<i>roll</i> (deg)	0.847	0.912	1.139	1.283	1.47
	<i>pitch</i> (deg)	1.24	1.513	1.571	1.611	1.924
	<i>yaw</i> (deg)	1.962	2.277	2.311	2.431	2.581
330	<i>surge</i> (m)	1.054	1.714	1.769	1.8	1.843
	<i>sway</i> (m)	0.861	0.904	1.009	1.072	1.176
	<i>heave</i> (m)	0.816	0.989	1.123	1.159	1.316
	<i>roll</i> (deg)	0.911	0.846	1.138	1.282	1.469
	<i>pitch</i> (deg)	1.239	1.512	1.57	1.61	1.923
	<i>yaw</i> (deg)	1.961	2.276	2.31	2.43	2.58
90	<i>surge</i> (m)	0.885	0.991	1.085	1.11	1.269
	<i>sway</i> (m)	1.331	1.845	1.89	2.122	2.35
	<i>heave</i> (m)	0.804	0.874	0.919	0.969	1.039
	<i>roll</i> (deg)	1.464	1.892	2.156	2.659	2.862
	<i>pitch</i> (deg)	0.609	0.66	0.778	0.89	1.02
	<i>yaw</i> (deg)	0.608	0.676	0.706	0.734	0.973

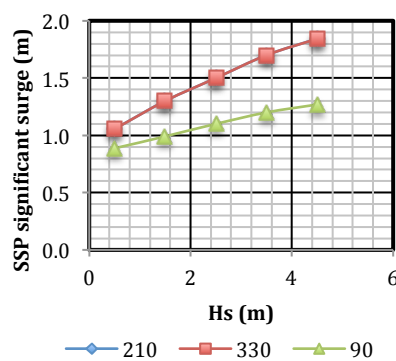
**Tabel 4.29** Nilai amplitudo signifikan *Shuttle Tanker* bermuatan *Half Load*

Heading (°)	Nilai amplitudo signifikan					
	Moda Gerak	Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
210	<i>surge</i> (m)	0.708	0.739	0.741	0.791	0.792
	<i>sway</i> (m)	0.65	0.733	0.735	0.737	0.739
	<i>heave</i> (m)	0.718	1.142	1.154	1.209	1.269
	<i>roll</i> (deg)	0.65	0.71	0.86	0.913	0.933
	<i>pitch</i> (deg)	0.786	0.859	0.868	1.012	1.104
	<i>yaw</i> (deg)	1.532	1.54	1.714	1.72	2.81
330	<i>surge</i> (m)	0.708	0.739	0.741	0.791	0.792
	<i>sway</i> (m)	0.65	0.733	0.735	0.737	0.739
	<i>heave</i> (m)	0.718	1.142	1.154	1.209	1.269
	<i>roll</i> (deg)	0.65	0.71	0.86	0.913	0.933
	<i>pitch</i> (deg)	0.786	0.859	0.868	1.012	1.104
	<i>yaw</i> (deg)	1.54	1.532	1.714	1.72	2.81

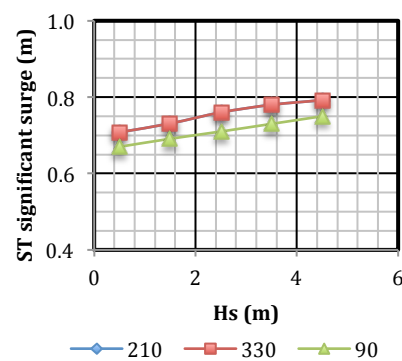


**Tabel 4.29** Nilai amplitudo signifikan *Shuttle Tanker* bermuatan *Half Load* (lanjutan)

Heading (°)	Nilai amplitudo signifikan					
	Moda Gerak	Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
90	<i>surge</i> (m)	0.67	0.691	0.699	0.75	0.748
	<i>sway</i> (m)	0.751	0.876	0.931	1.057	1.157
	<i>heave</i> (m)	0.718	0.754	0.949	1.109	1.329
	<i>roll</i> (deg)	1.358	1.549	1.822	1.922	2.091
	<i>pitch</i> (deg)	0.64	0.71	0.819	0.812	0.827
	<i>yaw</i> (deg)	0.801	1.188	1.372	1.611	1.757

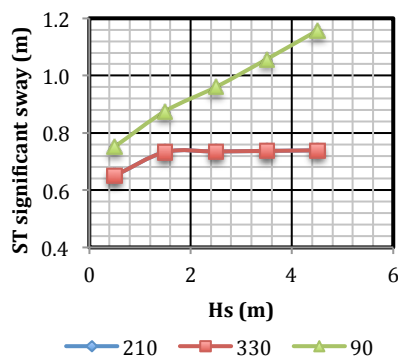


(a)

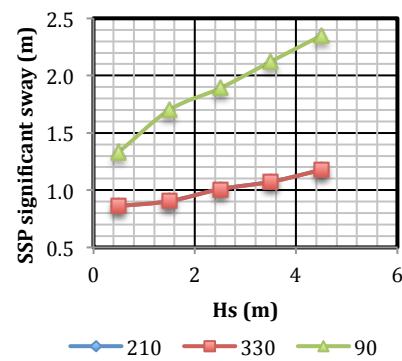


(b)

**Gambar 4.76** Respon gerak surge SSP (a) dan *Shuttle Tanker* (b) pada kondisi *Offloading SSP Ballast load – Shuttle Tanker Half Load*

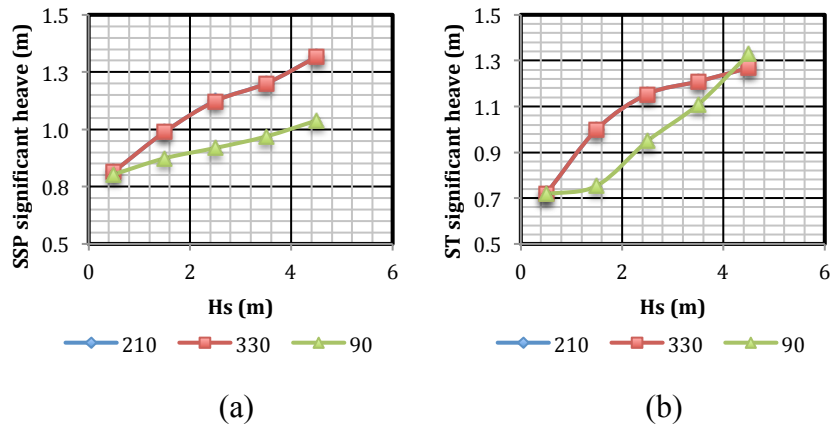


(a)

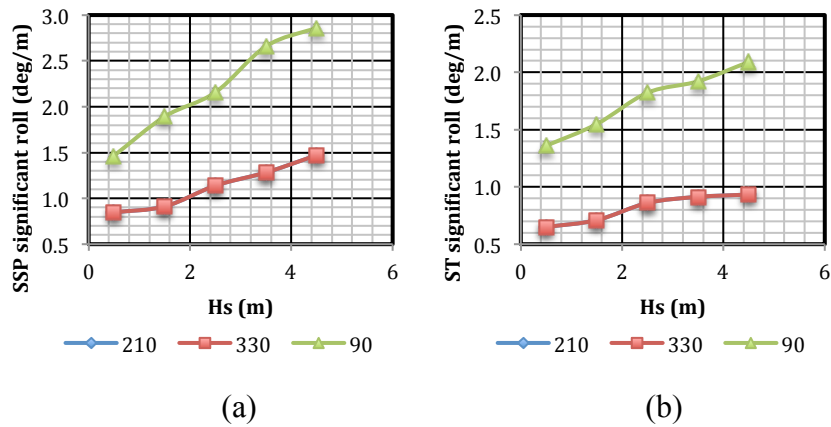


(b)

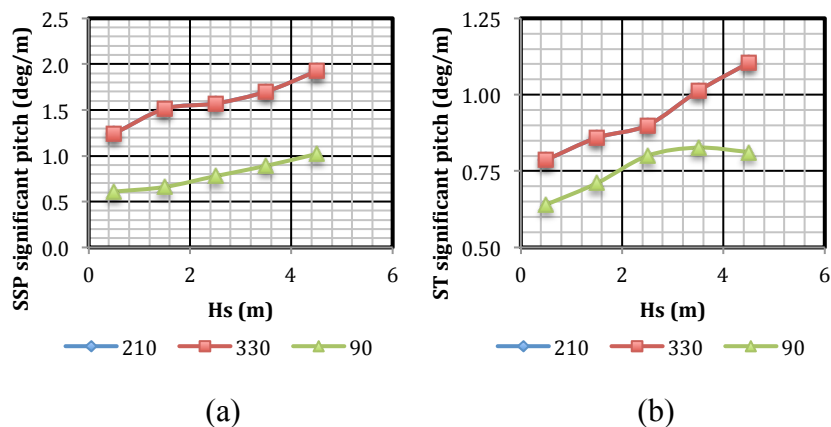
**Gambar 4.77** Respon gerak *sway* SSP (a) dan *Shuttle Tanker* (b) pada kondisi *offloading SSP Ballast load – Shuttle Tanker Half Load*



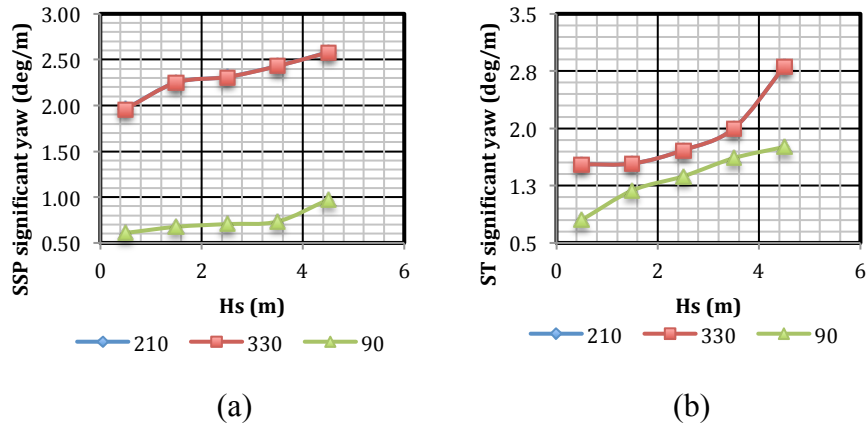
**Gambar 4.78** Respon gerak heave SSP (a) dan *Shuttle Tanker* (b) pada kondisi *Offloading SSP Ballast load – Shuttle Tanker halfLoad*



**Gambar 4.79** Respon gerak *roll* SSP (a) dan *Shuttle Tanker* (b) pada kondisi *offloading SSP Ballast load – Shuttle Tanker halfLoad*



**Gambar 4.80** Respon gerak *pitch* SSP (a) dan *Shuttle Tanker* (b) pada kondisi *offloading SSP Ballast load – Shuttle Tanker Half Load*



**Gambar 4.81** Respon gerak *sway* SSP (a) dan *Shuttle Tanker* (b) pada kondisi *offloading* SSP *Ballast load* – *Shuttle Tanker Half Load*

#### 4.6.3 Respon Gerak Struktur pada saat *Offloading* Kondisi 3 (FPSO bermuatan *Ballast load* – *Shuttle Tanker Full Load* dengan konfigurasi *Catenary*)

Sama dengan analisis pada kondisi 2, analisis dan pembahasan respon gerak pada kondisi 3 tidak lagi dijelaskan seperti pada kondisi 1 tetapi nilai hasil tabulasi respon gerak signifikan dan grafik dapat dilihat pada Tabel 4.30 dan Tabel 4.31.

**Tabel 4.30** Nilai amplitudo signifikan SSP *Ballast load*

Heading (°)	Nilai amplitudo signifikan					
	Moda Gerak	Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
210	<i>surge</i> (m)	1.085	1.87	1.901	1.944	2.015
	<i>sway</i> (m)	0.902	0.915	1.31	1.383	1.601
	<i>heave</i> (m)	1.416	1.489	2.024	2.26	2.517
	<i>roll</i> (deg)	1.612	1.662	1.87	1.983	2.27
	<i>pitch</i> (deg)	1.28	1.563	2.471	2.611	3.024
	<i>yaw</i> (deg)	1.992	2.777	3.011	3.231	3.481
330	<i>surge</i> (m)	1.064	1.724	1.81	1.853	1.869
	<i>sway</i> (m)	0.901	0.914	1.309	1.382	1.6
	<i>heave</i> (m)	1.415	1.488	2.023	2.259	2.516
	<i>roll</i> (deg)	1.611	1.661	1.869	1.982	2.269
	<i>pitch</i> (deg)	1.279	1.562	2.47	2.61	3.023
	<i>yaw</i> (deg)	1.991	2.776	3.01	3.23	3.48

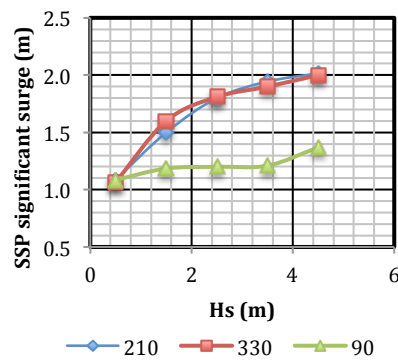
**Tabel 4.30** Nilai amplitudo signifikan SSP *Ballast load* (lanjutan)

Heading (°)	Nilai amplitudo signifikan					
	Moda Gerak	Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
90	<i>surge</i> (m)	1.085	1.185	1.191	1.21	1.369
	<i>sway</i> (m)	1.531	2.045	2.09	2.402	2.65
	<i>heave</i> (m)	1.004	1.174	1.419	1.669	1.839
	<i>roll</i> (deg)	1.764	2.192	2.456	2.962	3.059
	<i>pitch</i> (deg)	0.709	0.75	0.788	0.99	1.17
	<i>yaw</i> (deg)	0.628	0.726	0.731	0.764	1.053

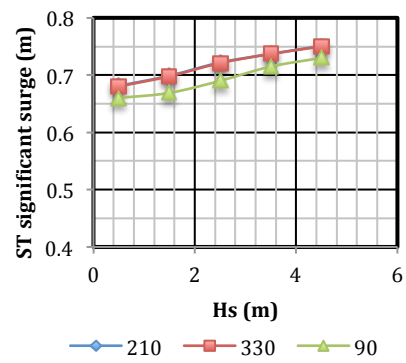
**Tabel 4.31** Nilai amplitudo signifikan *Shuttle Tanker* bermuatan *Full Load*

Heading (°)	Nilai amplitudo signifikan					
	Moda Gerak	Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
210	<i>surge</i> (m)	0.681	0.699	0.722	0.731	0.751
	<i>sway</i> (m)	0.609	0.63	0.637	0.655	0.693
	<i>heave</i> (m)	0.678	1.054	1.109	1.122	1.139
	<i>roll</i> (deg)	0.64	0.71	0.8	0.883	0.903
	<i>pitch</i> (deg)	0.659	0.668	0.686	0.712	0.784
	<i>yaw</i> (deg)	0.94	1.032	1.704	1.71	1.81
330	<i>surge</i> (m)	0.68	0.698	0.721	0.73	0.75
	<i>sway</i> (m)	0.659	0.668	0.67	0.721	0.725
	<i>heave</i> (m)	0.677	1.053	1.108	1.121	1.138
	<i>roll</i> (deg)	0.64	0.71	0.8	0.883	0.903
	<i>pitch</i> (deg)	0.658	0.667	0.685	0.711	0.783
	<i>yaw</i> (deg)	0.94	1.032	1.704	1.71	1.81
90	<i>surge</i> (m)	0.66	0.669	0.671	0.722	0.726
	<i>sway</i> (m)	0.651	0.731	0.766	0.887	0.957
	<i>heave</i> (m)	0.654	0.688	0.849	0.909	1.099
	<i>roll</i> (deg)	1.058	1.545	1.816	1.912	1.991
	<i>pitch</i> (deg)	0.64	0.687	0.719	0.787	0.798
	<i>yaw</i> (deg)	0.62	1.168	1.278	1.412	1.598

Kondisi perbandingan respon gerak struktur SSP dan *Shuttle Tanker* pada setiap moda gerak dapat dilihat pada gambar 4.82 hingga Gambar 4.87

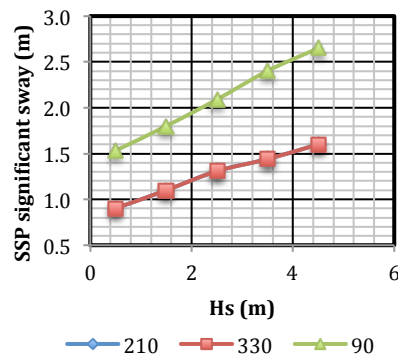


(a)

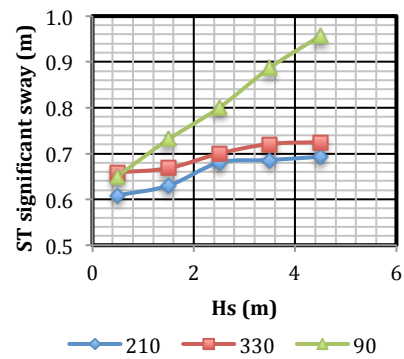


(b)

**Gambar 4.82** Respon gerak *surge* SSP (a) dan *Shuttle Tanker* (b) pada kondisi *offloading SSP Ballast load – Shuttle Tanker Full Load*

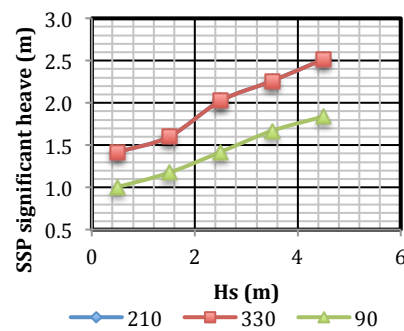


(a)

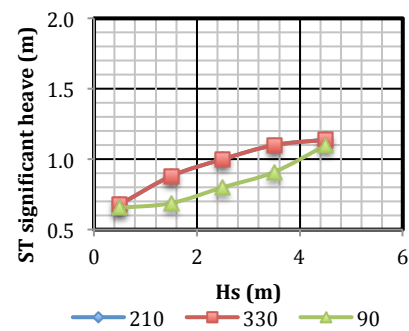


(b)

**Gambar 4.83** Respon gerak *sway* SSP (a) dan *Shuttle Tanker* (b) pada kondisi *offloading SSP Ballast load – Shuttle Tanker Full Load*

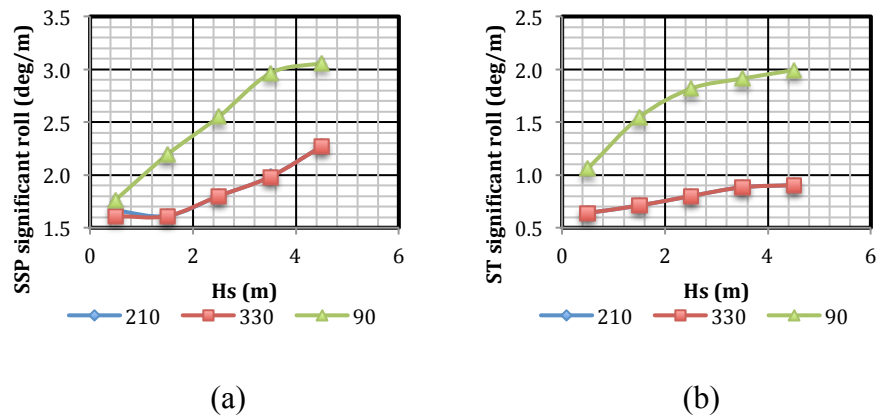


(a)

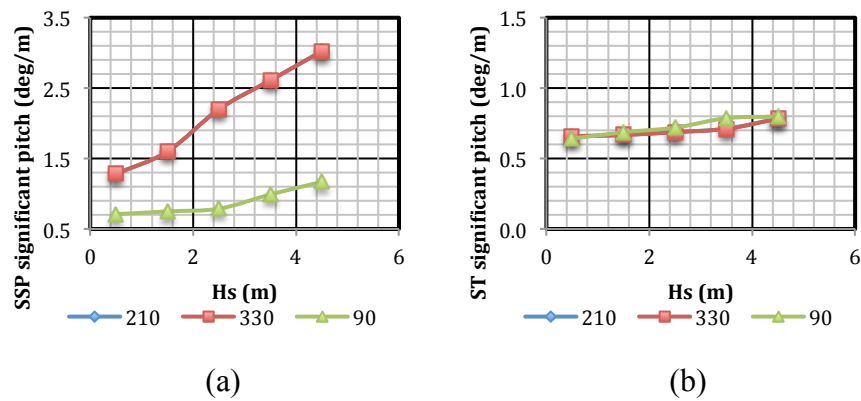


(b)

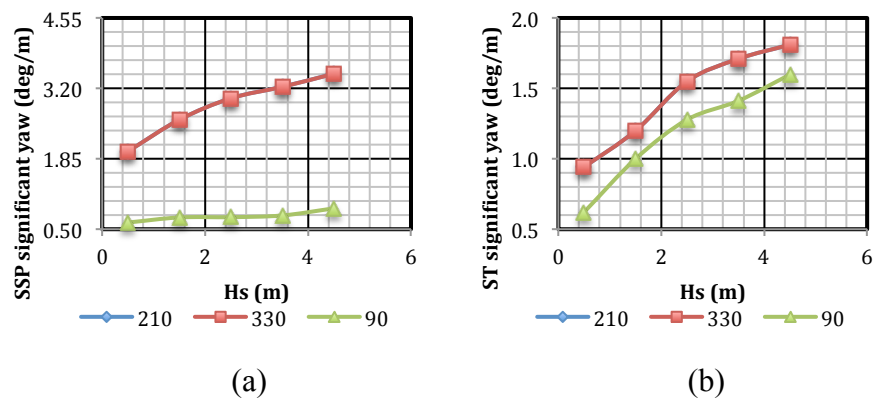
**Gambar 4.84** Respon gerak *heave* SSP (a) dan *Shuttle Tanker* (b) pada kondisi *offloading SSP Ballast load – Shuttle Tanker Full Load*



**Gambar 4.85** Respon gerak *roll* SSP (a) dan *Shuttle Tanker* (b) pada kondisi *offloading SSP Ballast load – Shuttle Tanker Full Load*



**Gambar 4.86** Respon gerak *pitch* SSP (a) dan *Shuttle Tanker* (b) pada kondisi *offloading SSP Ballast load – Shuttle Tanker Full Load*



**Gambar 4.87** Respon gerak *yaw* SSP (a) dan *Shuttle Tanker* (b) pada kondisi *offloading SSP Ballast load – Shuttle Tanker Full Load*

4.6.4 Respon Gerak Struktur pada saat *Offloading* Kondisi 4 (FPSO bermuatan *Full Load – Shuttle Tanker Ballast load* dengan konfigurasi *Taut*)

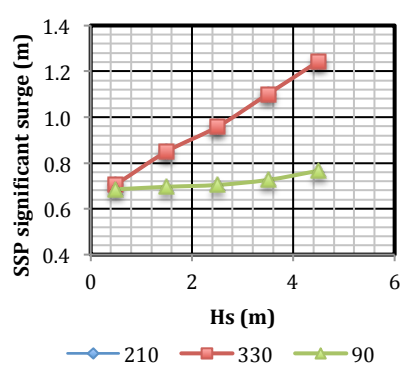
Secara umum, respon gerak kondisi 1 hingga 3 sama dengan kondisi 4 hingga 6. Respon gerak struktur yang menggunakan sistem tambat *Taut* memiliki nilai amplitudo yang lebih kecil dibandingkan struktur yang menggunakan sistem tambat *Catenary*, hal ini disebabkan oleh konfigurasi *Taut* memungkinkan struktur untuk memiliki kemampuan gerak yang terbatas. Berikut dilampirkan nilai amplitudo signifikan dari respon gerak struktur dengan konfigurasi sistem tambat *Taut* dengan muatan SSP *Full Load – ST ballast*. Analisa mengenai sistem respon gerak *Taut* tidak lagi dijelaskan pada bab ini tetapi tabulasi respon gerak signifikan dan grafik dapat dilihat pada tabel 4.32 dan Tabel 4.33., sedangkan kondisi perbandingan respon gerak struktur SSP dan *Shuttle Tanker* pada setiap moda gerak dapat dilihat pada Gambar 4.88 hingga Gambar 4.93

**Tabel 4.32** Nilai amplitudo signifikan SSP *Full Load*

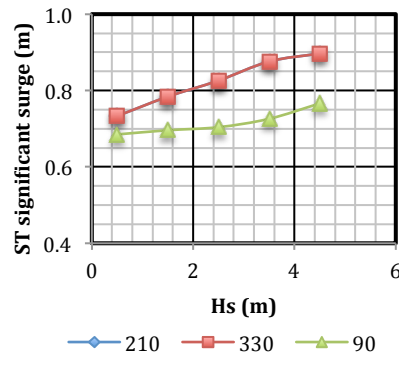
Heading (°)	Nilai amplitudo signifikan					
	Moda Gerak	Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
210	<i>surge</i> (m)	0.705	0.915	0.958	1.101	1.244
	<i>sway</i> (m)	0.662	0.785	0.81	0.893	0.977
	<i>heave</i> (m)	0.689	0.716	0.724	0.76	0.947
	<i>roll</i> (deg)	0.63	0.691	0.721	0.769	0.818
	<i>pitch</i> (deg)	0.652	0.755	0.806	0.889	0.971
	<i>yaw</i> (deg)	0.636	0.664	0.694	0.702	0.911
330	<i>surge</i> (m)	0.705	0.915	0.958	1.101	1.244
	<i>sway</i> (m)	0.662	0.785	0.81	0.893	0.977
	<i>heave</i> (m)	0.689	0.716	0.724	0.76	0.947
	<i>roll</i> (deg)	0.63	0.691	0.721	0.769	0.818
	<i>pitch</i> (deg)	0.652	0.755	0.806	0.889	0.971
	<i>yaw</i> (deg)	0.636	0.664	0.694	0.702	0.911
90	<i>surge</i> (m)	0.709	0.744	0.79	0.809	0.908
	<i>sway</i> (m)	0.731	0.992	1.045	1.222	1.4
	<i>heave</i> (m)	0.689	0.716	0.724	0.76	0.947
	<i>roll</i> (deg)	0.711	0.792	0.856	0.959	1.062
	<i>pitch</i> (deg)	0.607	0.631	0.679	0.691	0.741
	<i>yaw</i> (deg)	0.635	0.663	0.693	0.701	0.91

**Tabel 4.33** Nilai amplitudo signifikan *Shuttle Tanker* bermuatan *Ballast load*

Heading (°)		Nilai amplitudo signifikan				
	Moda Gerak	Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
210	Surge (m)	0.733	0.784	0.826	0.876	0.897
	Sway (m)	0.897	0.918	1.097	1.302	1.496
	Heave (m)	0.803	1.239	1.327	1.494	1.754
	Roll (deg)	1.095	1.135	1.245	1.276	1.584
	Pitch(deg)	0.773	0.884	0.903	1.007	1.119
	Yaw (deg)	1.825	2.017	2.299	2.405	2.583
330	Surge (m)	0.733	0.784	0.826	0.876	0.897
	Sway (m)	0.897	0.918	1.097	1.302	1.496
	Heave (m)	0.803	1.239	1.327	1.494	1.754
	Roll (deg)	1.095	1.135	1.245	1.276	1.584
	Pitch(deg)	0.773	0.884	0.903	1.007	1.119
	Yaw (deg)	1.825	2.017	2.299	2.405	2.583
90	Surge (m)	0.685	0.696	0.704	0.726	0.766
	Sway (m)	0.936	1.461	1.816	2.142	2.242
	Heave (m)	0.803	1.234	1.239	1.494	1.754
	Roll (deg)	1.363	1.564	1.817	1.917	2.136
	Pitch(deg)	0.651	0.775	0.884	0.912	0.927
	Yaw (deg)	0.859	1.473	1.686	1.896	2.072



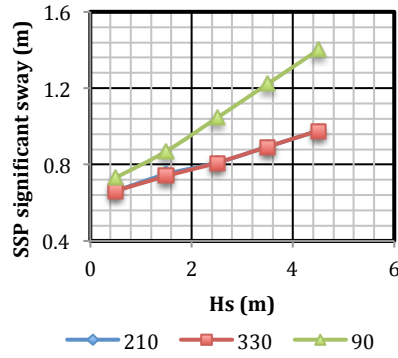
(a)



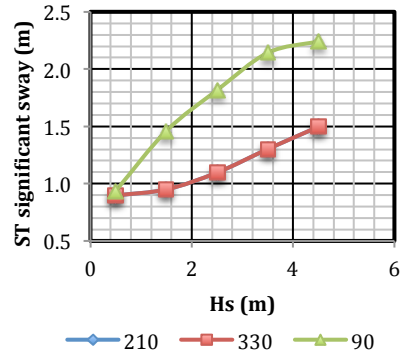
(b)

**Gambar 4.88** Respon gerak surge SSP (a) dan *Shuttle Tanker* (b) pada kondisi offloading SSP Full Load – *Shuttle Tanker* Ballast load



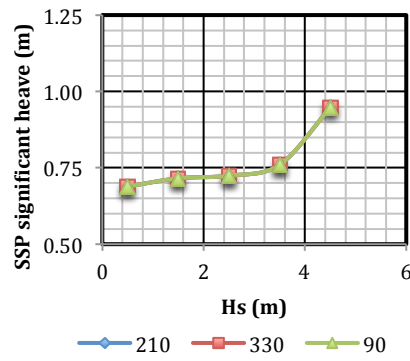


(a)

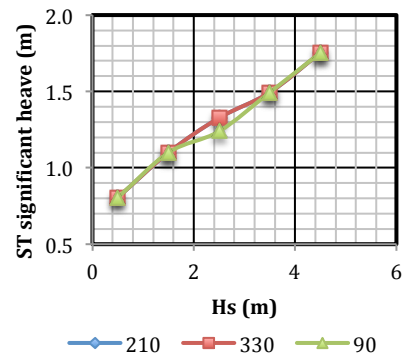


(b)

**Gambar 4.89** Respon gerak *sway* SSP (a) dan *Shuttle Tanker* (b) pada kondisi *offloading SSP Full Load – Shuttle Tanker Ballast load*

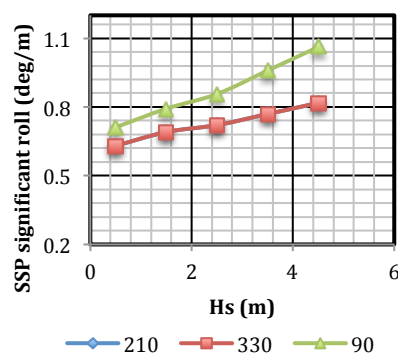


(a)

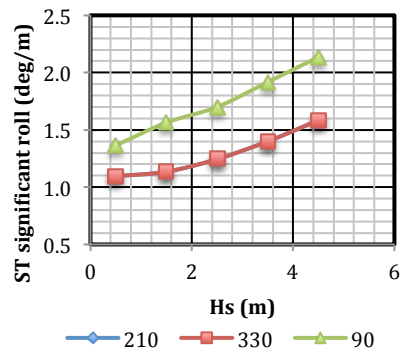


(b)

**Gambar 4.90** Respon gerak *heave* SSP (a) dan *Shuttle Tanker* (b) pada kondisi *offloading SSP Full Load – Shuttle Tanker Ballast load*

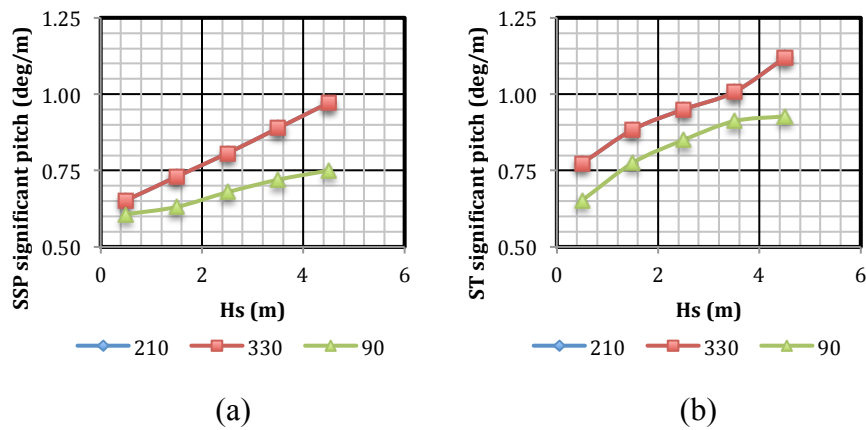


(a)

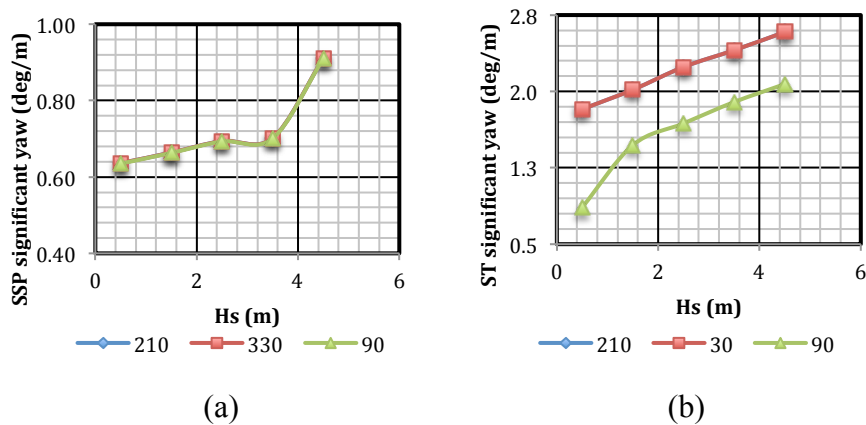


(b)

**Gambar 4.91** Respon gerak *roll* SSP (a) dan *Shuttle Tanker* (b) pada kondisi *offloading SSP Ballast load – Shuttle Tanker Full Load*



**Gambar 4.92** Respon gerak *pitch* SSP (a) dan *Shuttle Tanker* (b) pada kondisi *offloading SSP Full Load – Shuttle Tanker Ballast load*



**Gambar 4.93** Respon gerak *yaw* SSP (a) dan *Shuttle Tanker* (b) pada kondisi *offloading SSP Full Load – Shuttle Tanker Ballast load*

Nilai respon gerak *yaw* pada SSP cenderung lebih kecil dibandingkan respon gerak pada *Shuttle Tanker*. Hal ini disebabkan karena *Shuttle Tanker* memiliki luas penampang terhadap arah pembebanan lebih panjang dan lebih lebar dibanding SSP yang memiliki bentuk dasar silinder. Respon gerak *yaw* dialami lebih kecil oleh struktur pada arah pembebanan 90°.

#### 4.6.5 Respon Gerak Stuktur pada saat *Offloading* Kondisi 5 (FPSO bermuatan *Ballast load – Shuttle Tanker Half Load* dengan konfigurasi *Taut*)

Sama dengan analisis pada kondisi 1 hingga 3, analisis dan pembahasan respon gerak pada kondisi 5 tidak lagi dijelaskan seperti pada kondisi 5 tetapi nilai hasil tabulasi respon gerak signifikan dan grafik dapat dilihat pada Tabel 4.33 dan

Tabel 4.34. Kondisi perbandingan respon gerak struktur SSP dan *Shuttle Tanker* pada setiap moda gerak dapat dilihat pada Gambar 4.94 hingga Gambar 4.99.

**Tabel 4.34** Nilai amplitudo signifikan SSP *Ballast load*

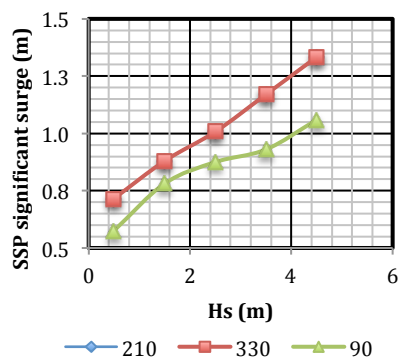
Heading (°)	Nilai amplitudo signifikan					
	Moda Gerak	Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
210	<i>surge</i> (m)	0.715	0.946	1.007	1.17	1.333
	<i>sway</i> (m)	0.668	0.803	0.838	0.934	1.029
	<i>heave</i> (m)	0.72	0.728	0.78	0.831	0.984
	<i>roll</i> (deg)	0.641	0.724	0.774	0.844	0.913
	<i>pitch</i> (deg)	0.671	0.812	0.897	1.016	1.135
	<i>yaw</i> (deg)	1.932	2.247	2.281	2.401	2.551
330	<i>surge</i> (m)	0.715	0.946	1.007	1.17	1.333
	<i>sway</i> (m)	0.668	0.803	0.838	0.934	1.029
	<i>heave</i> (m)	0.72	0.728	0.78	0.831	0.984
	<i>roll</i> (deg)	0.641	0.724	0.774	0.844	0.913
	<i>pitch</i> (deg)	0.671	0.812	0.897	1.016	1.135
	<i>yaw</i> (deg)	1.931	2.246	2.28	2.4	2.55
90	<i>surge</i> (m)	0.575	0.781	0.875	0.9	1.059
	<i>sway</i> (m)	0.743	1.03	1.106	1.308	1.51
	<i>heave</i> (m)	0.72	0.728	0.78	0.831	0.984
	<i>roll</i> (deg)	0.688	0.864	0.969	1.117	1.264
	<i>pitch</i> (deg)	0.607	0.658	0.776	0.888	1.018
	<i>yaw</i> (deg)	0.605	0.673	0.703	0.731	0.97

**Tabel 4.35** Nilai amplitudo signifikan *Shuttle Tanker* bermuatan *Half Load*

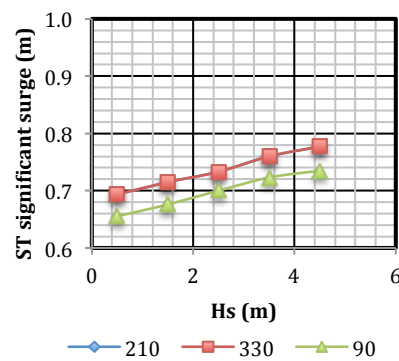
Heading (°)	Moda Gerak	Nilai amplitudo signifikan				
		Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
210	<i>Surge</i> (m)	0.693	0.724	0.726	0.776	0.777
	<i>Sway</i> (m)	0.635	0.718	0.72	0.722	0.724
	<i>Heave</i> (m)	0.703	1.127	1.139	1.194	1.254
	<i>Roll</i> (deg)	0.635	0.695	0.845	0.898	0.918
	<i>Pitch</i> (deg)	0.771	0.844	0.853	0.997	1.089
	<i>Yaw</i> (deg)	1.517	1.525	1.699	1.705	2.795

**Tabel 4.35** Nilai amplitudo signifikan *Shuttle Tanker* bermuatan *Half Load*  
(lanjutan)

Heading (°)	Moda Gerak	Nilai amplitudo signifikan				
		Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
330	Surge (m)	0.693	0.724	0.726	0.776	0.777
	Sway (m)	0.635	0.718	0.72	0.722	0.724
	Heave (m)	0.703	1.127	1.139	1.194	1.254
	Roll (deg)	0.635	0.695	0.845	0.898	0.918
	Pitch(deg)	0.771	0.844	0.853	0.997	1.089
	Yaw (deg)	1.517	1.525	1.699	1.705	2.795
90	Surge (m)	0.655	0.676	0.684	0.733	0.735
	Sway (m)	0.736	0.861	0.916	1.042	1.142
	Heave (m)	0.703	1.127	1.139	1.194	1.254
	Roll (deg)	1.343	1.534	1.807	1.907	2.076
	Pitch(deg)	0.625	0.695	0.804	0.911	0.987
	Yaw (deg)	0.786	1.173	1.357	1.596	1.742

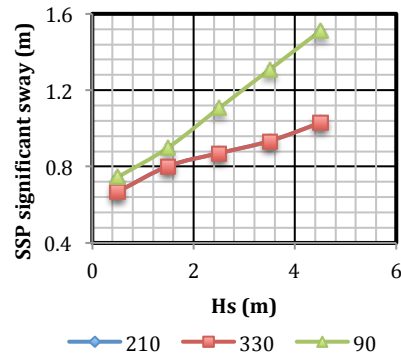


(a)

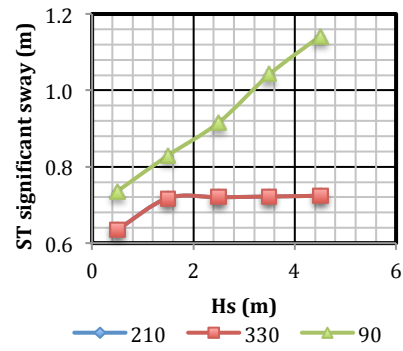


(b)

**Gambar 4.94** Respon gerak surge SSP (a) dan *Shuttle Tanker* (b) pada kondisi offloading SSP Ballast load – *Shuttle Tanker Half Load*

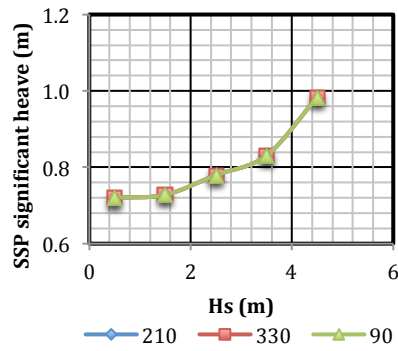


(a)

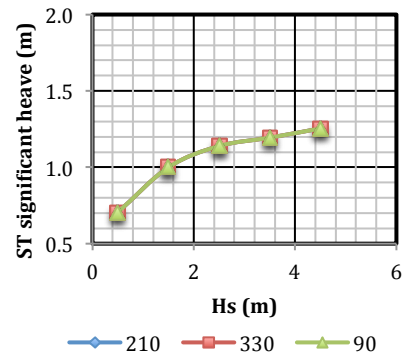


(b)

**Gambar 4.95** Respon gerak sway SSP (a) dan *Shuttle Tanker* (b) pada kondisi offloading SSP Ballast load – *Shuttle Tanker Half Load*

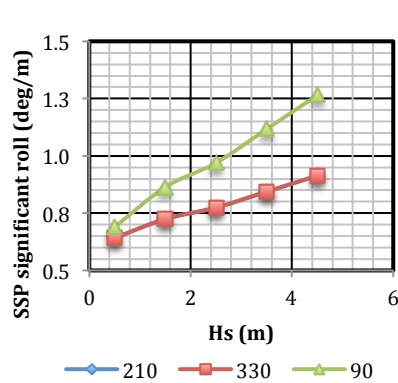


(a)

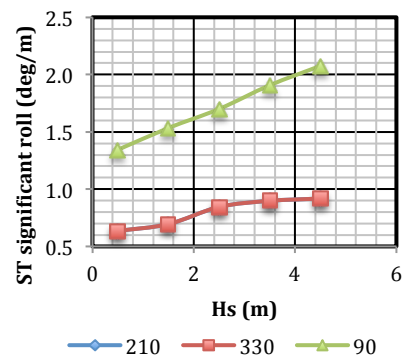


(b)

**Gambar 4.96** Respon gerak heave SSP (a) dan *Shuttle Tanker* (b) pada kondisi offloading SSP Ballast load – *Shuttle Tanker Half Load*

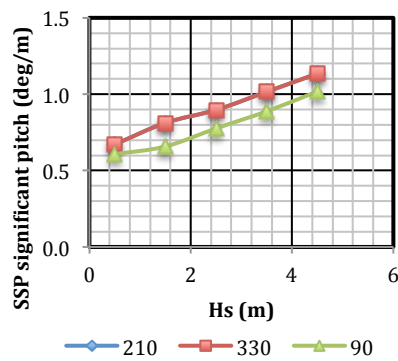


(a)

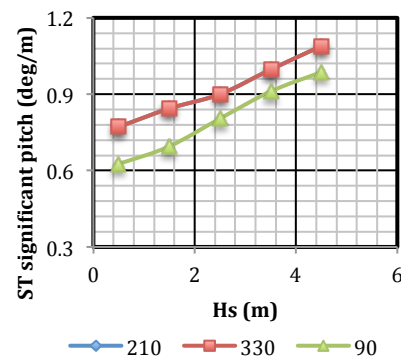


(b)

**Gambar 4.97** Respon gerak roll SSP (a) dan *Shuttle Tanker* (b) pada kondisi offloading SSP Ballast load – *Shuttle Tanker Half Load*

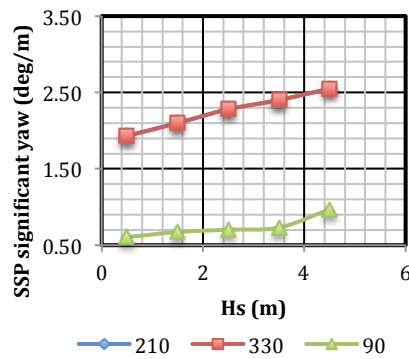


(a)

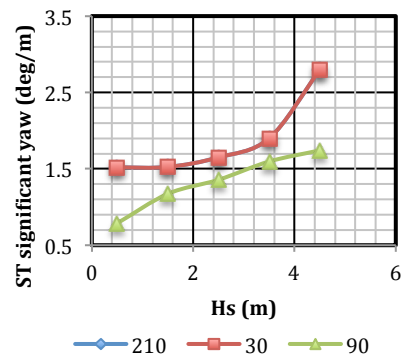


(b)

**Gambar 4.98** Respon gerak *pitch* SSP (a) dan *Shuttle Tanker* (b) pada kondisi *offloading* SSP *Ballast load* – *Shuttle Tanker Half Load*



(a)



(b)

**Gambar 4.99** Respon gerak *yaw* SSP (a) dan *Shuttle Tanker* (b) pada kondisi *offloading* SSP *Ballast load* – *Shuttle Tanker Half Load*

#### 4.6.6 Respon Gerak Stuktur pada saat *Offloading* kondisi 6 (FPSO bermuatan *Ballast load* – *Shuttle Tanker Full Load* dengan konfigurasi *Taut*)

Sama dengan analisis pada kondisi 1 hingga, analisis dan pembahasan respon gerak pada kondisi 6 tidak lagi dijelaskan seperti pada kondisi 1 tetapi nilai hasil tabulasi respon gerak signifikan dan grafik dapat dilihat pada Tabel 4.36 dan Tabel 4.37.

**Tabel 4.36** Nilai amplitudo signifikan SSP *Ballast load*

Heading (°)	Nilai amplitudo signifikan					
	Moda Gerak	Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
210	<i>surge</i> (m)	0.815	1.046	1.107	1.27	1.433
	<i>sway</i> (m)	0.768	0.903	0.938	1.034	1.129
	<i>heave</i> (m)	0.828	0.828	0.88	0.931	1.084
	<i>roll</i> (deg)	0.741	0.824	0.874	0.944	1.013
	<i>pitch</i> (deg)	0.771	0.912	0.997	1.116	1.235
	<i>yaw</i> (deg)	2.032	2.347	2.381	2.501	2.651
330	<i>surge</i> (m)	0.815	1.046	1.107	1.27	1.433
	<i>sway</i> (m)	0.768	0.903	0.938	1.034	1.129
	<i>heave</i> (m)	0.828	0.828	0.88	0.931	1.084
	<i>roll</i> (deg)	0.741	0.824	0.874	0.944	1.013
	<i>pitch</i> (deg)	0.771	0.912	0.997	1.116	1.235
	<i>yaw</i> (deg)	2.032	2.347	2.381	2.501	2.651
90	<i>surge</i> (m)	0.574	0.78	0.874	0.899	1.058
	<i>sway</i> (m)	0.843	1.13	1.206	1.408	1.61
	<i>heave</i> (m)	0.828	0.828	0.88	0.931	1.084
	<i>roll</i> (deg)	0.788	0.964	1.069	1.217	1.364
	<i>pitch</i> (deg)	0.608	0.659	0.777	0.889	1.019
	<i>yaw</i> (deg)	0.705	0.773	0.803	0.831	1.07

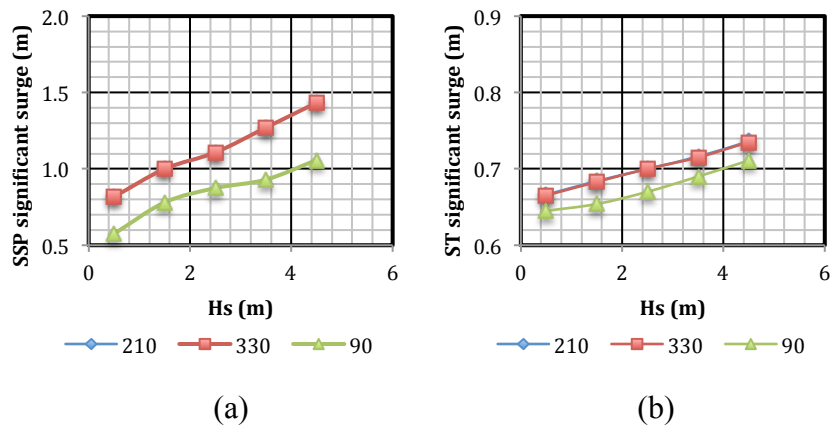
**Tabel 4.37** Nilai amplitudo signifikan *Shuttle Tanker* bermuatan *Full Load*

Heading (°)	Moda Gerak	Nilai amplitudo signifikan				
		Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
210	<i>Surge</i> (m)	0.666	0.684	0.707	0.716	0.736
	<i>Sway</i> (m)	0.594	0.615	0.622	0.64	0.678
	<i>Heave</i> (m)	0.663	1.039	1.094	1.107	1.124
	<i>Roll</i> (deg)	0.625	0.695	0.785	0.868	0.888
	<i>Pitch</i> (deg)	0.761	0.834	0.843	0.987	1.079
	<i>Yaw</i> (deg)	0.925	1.017	1.689	1.695	1.795
330	<i>Surge</i> (m)	0.665	0.683	0.706	0.715	0.735
	<i>Sway</i> (m)	0.593	0.614	0.621	0.639	0.677
	<i>Heave</i> (m)	0.662	1.038	1.093	1.106	1.123
	<i>Roll</i> (deg)	0.624	0.694	0.784	0.867	0.887
	<i>Pitch</i> (deg)	0.76	0.833	0.842	0.986	1.078
	<i>Yaw</i> (deg)	0.924	1.016	1.688	1.694	1.794

**Tabel 4.37** Nilai amplitudo signifikan *Shuttle Tanker* bermuatan *Full Load*  
(lanjutan)

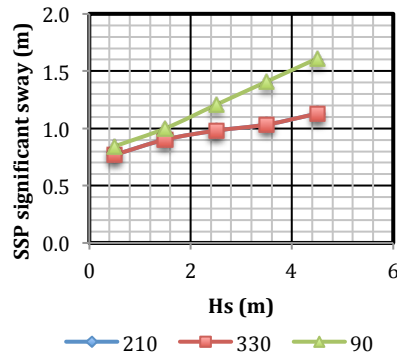
Heading (°)	Nilai amplitudo signifikan					
	Moda Gerak	Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
90	<i>surge</i> (m)	0.645	0.654	0.656	0.707	0.711
	<i>sway</i> (m)	0.636	0.716	0.751	0.872	0.942
	<i>heave</i> (m)	0.639	0.673	0.834	0.894	1.084
	<i>roll</i> (deg)	1.043	1.53	1.801	1.897	1.976
	<i>pitch</i> (deg)	0.625	0.672	0.704	0.772	0.783
	<i>yaw</i> (deg)	0.605	1.153	1.263	1.397	1.583

Kondisi perbandingan respon gerak struktur SSP dan *Shuttle Tanker* pada setiap moda gerak dapat dilihat pada Gambar 4.100 hingga Gambar 4.101

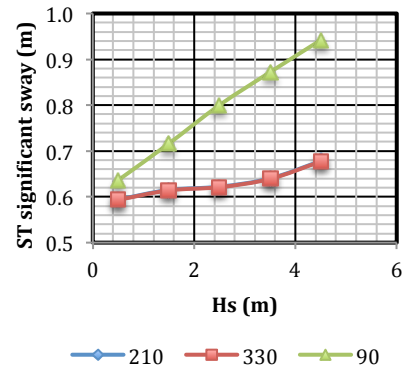


**Gambar 4.100** Respon gerak *surge* SSP (a) dan *Shuttle Tanker* (b) pada kondisi *offloading* SSP *Ballast load* – *Shuttle Tanker Full Load*



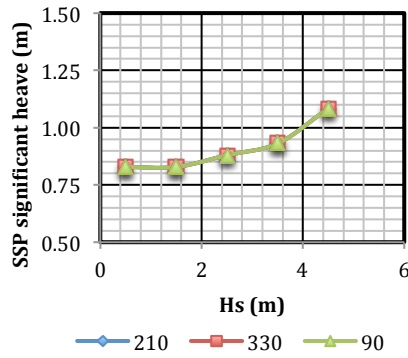


(a)

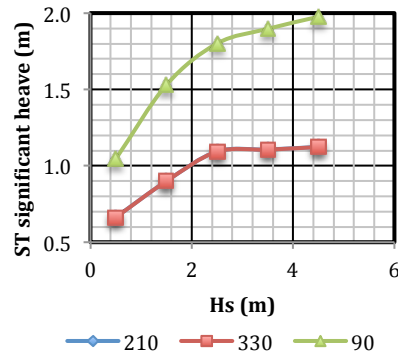


(b)

**Gambar 4.101** Respon gerak sway SSP (a) dan *Shuttle Tanker* (b) pada kondisi offloading SSP Ballast load – *Shuttle Tanker Full Load*

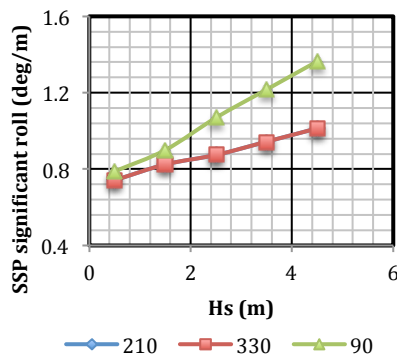


(a)

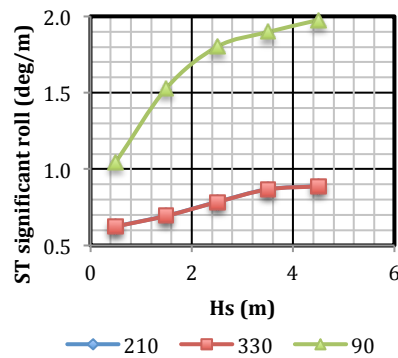


(b)

**Gambar 4.102** Respon gerak heave SSP (a) dan *Shuttle Tanker* (b) pada kondisi offloading SSP Ballast load – *Shuttle Tanker Full Load*

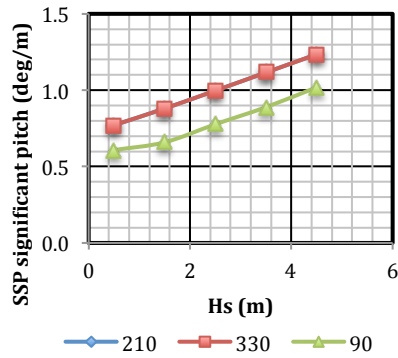


(a)

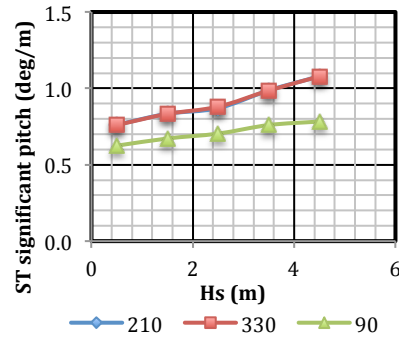


(b)

**Gambar 4.103** Respon gerak roll SSP (a) dan *Shuttle Tanker* (b) pada kondisi offloading SSP Ballast load – *Shuttle Tanker Full Load*

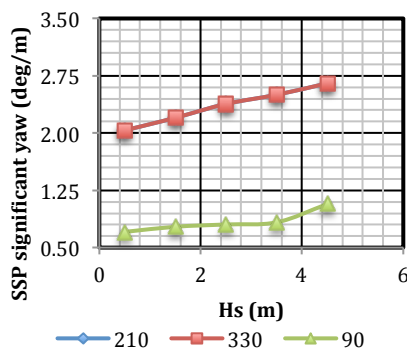


(a)

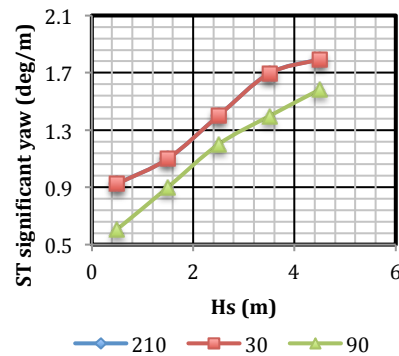


(b)

**Gambar 4.104** Respon gerak *pitch* SSP (a) dan *Shuttle Tanker* (b) pada kondisi *offloading* SSP Ballast load – *Shuttle Tanker Full Load*



(a)



(b)

**Gambar 4.105** Respon gerak *yaw* SSP (a) dan *Shuttle Tanker* (b) pada kondisi *offloading* SSP Ballast load – *Shuttle Tanker Full Load*

Nilai respon gerak *yaw* pada SSP cenderung lebih kecil dibandingkan respon gerak pada *Shuttle Tanker*. Hal ini disebabkan karena *Shuttle Tanker* memiliki luas penampang terhadap arah pembebanan lebih panjang dan lebih lebar dibanding SSP yang memiliki bentuk dasar silinder. Respon gerak *yaw* dialami lebih kecil oleh struktur pada arah pembebanan 90°.

#### 4.6.7 Analisa Kondisi Kritis Berdasarkan Respon Gerak

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, didapatkan gambaran mengenai posisi kedua objek ketika proses *tandem* berlangsung. Hasil yang sudah diperoleh tersebut memudahkan penarikan simpulan mengenai sampai pada batas mana struktur dapat dilakukan. Peninjauan kondisi kritis pada setiap kasus berfungsi

untuk mendapatkan informasi mengenai kemungkinan tubrukan yang terjadi antar struktur, dan ditampilkan pada Tabel 4.38 hingga 4.43.

**Tabel 4.38** Rangkuman kondisi kritis *tandem offloading* berdasarkan respon gerak pada kondisi 1 (SSP *Full Load- Shuttle Tanker ballast* dengan konfigurasi *Catenary*)

	Nilai amplitudo signifikan					
Heading (°)	Moda Gerak	Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
210	SSP <i>sway (m)</i>	-0.921	-1.041	-1.088	-1.121	-1.126
	SSP <i>heave (m)</i>	0.685	0.712	0.808	0.901	0.998
	SSP <i>roll (deg)</i>	0.105	0.106	0.113	0.173	0.173
	<i>Shuttle Takner sway (m)</i>	-2.103	-4.103	-6.414	-9.525	-10.742
	<i>Shuttle Takner heave(m)</i>	-2.412	-3.523	-5.634	-6.967	-7.945
	<i>Shuttle Takner roll (deg)</i>	0.234	0.801	1.822	2.721	3.943
330	SSP <i>sway (m)</i>	0.919	1.942	2.965	3.988	5.011
	SSP <i>heave (m)</i>	0.696	0.723	0.819	0.912	1.009
	SSP <i>roll (deg)</i>	0.106	0.107	0.114	0.174	0.174
	<i>Shuttle Takner sway (m)</i>	2.103	4.103	6.103	8.103	10.103
	<i>Shuttle Takner heave(m)</i>	2.412	3.523	4.634	5.745	6.856
	<i>Shuttle Takner roll (deg)</i>	0.234	0.801	1.822	2.721	3.943
90	SSP <i>sway (m)</i>	4.723	6.033	8.343	9.344	10.345
	SSP <i>heave (m)</i>	2.129	2.355	2.532	2.766	2.975
	SSP <i>roll (deg)</i>	0.981	0.982	0.989	1.049	1.049
	<i>Shuttle Takner sway (m)</i>	8.25	8.373	10.495	10.618	11.729
	<i>Shuttle Takner heave(m)</i>	-4.119	-4.242	-5.353	-6.252	-8.151
	<i>Shuttle Takner roll (deg)</i>	-4.658	-4.781	-4.994	-5.125	-5.247

**Tabel 4.39** Rangkuman kondisi kritis *tandem offloading* berdasarkan respon gerak pada kondisi 2 (SSP *Ballast load- Shuttle Tanker Half Load* dengan konfigurasi *Catenary*)

	Nilai amplitudo signifikan					
Heading (°)	Moda Gerak	Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
210	SSP <i>sway (m)</i>	-2.154	-2.274	-2.321	-2.354	-2.359
	SSP <i>heave (m)</i>	1.473	1.5	1.596	1.689	1.786
	SSP <i>roll (deg)</i>	1.004	1.005	1.012	1.072	1.072
	<i>Shuttle Takner sway (m)</i>	-1.98	-3.98	-6.291	-9.402	-10.619
	<i>Shuttle Takner heave(m)</i>	-2.289	-3.4	-5.511	-6.844	-7.822
	<i>Shuttle Takner roll (deg)</i>	0.357	0.924	1.945	2.844	4.066

**Tabel 4.39** Rangkuman kondisi kritis *tandem offloading* berdasarkan respon gerak pada kondisi 2 (SSP *Ballast load- Shuttle Tanker Half Load* dengan konfigurasi *Catenary*) (lanjutan)

Heading (°)	Nilai amplitudo signifikan					
	Moda Gerak	Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
330	SSP sway (m)	2.154	2.308	2.462	2.616	2.77
	SSP heave (m)	1.473	1.596	1.719	1.842	1.965
	SSP roll (deg)	1.004	1.005	1.012	1.072	1.072
	Shuttle Tanker sway (m)	1.98	4.202	6.424	8.646	10.868
	Shuttle Tanker heave(m)	-2.289	-3.4	-5.511	-6.844	-7.822
	Shuttle Tanker roll (deg)	-0.48	-1.047	-2.068	-2.967	-4.189
90	SSP sway (m)	6.754	8.064	10.374	11.375	12.376
	SSP heave (m)	4.139	4.365	4.542	4.776	4.985
	SSP roll (deg)	4.649	4.68	4.739	4.8	4.857
	Shuttle Tanker sway (m)	7.139	7.262	9.384	9.507	10.618
	Shuttle Tanker heave(m)	-3.996	-4.119	-5.23	-6.129	-8.028
	Shuttle Tanker roll (deg)	-3.536	-3.659	-3.872	-4.003	-4.125

**Tabel 4.40** Rangkuman kondisi kritis *tandem offloading* berdasarkan respon gerak pada kondisi 3 SSP *Ballast load- Shuttle Tanker Half Load* dengan konfigurasi *Catenary*

Heading (°)	Nilai amplitudo signifikan					
	Moda Gerak	Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
210	SSP sway (m)	-2.277	-2.397	-2.444	-2.477	-2.482
	SSP heave (m)	1.485	1.512	1.608	1.701	1.798
	SSP roll (deg)	1.005	1.006	1.013	1.073	1.073
	Shuttle Tanker sway (m)	-1.103	-3.103	-5.414	-8.525	-9.742
	Shuttle Tanker heave(m)	-2.067	-3.178	-5.289	-6.622	-7.6
	Shuttle Tanker roll (deg)	0.478	1.045	2.066	2.965	4.187
330	SSP sway (m)	2.031	2.241	2.451	2.661	2.871
	SSP heave (m)	1.485	1.512	1.608	1.701	1.798
	SSP roll (deg)	1.003	1.004	1.011	1.071	1.071
	Shuttle Tanker sway (m)	1.103	1.114	1.125	1.136	1.147
	Shuttle Tanker heave(m)	-2.067	-3.178	-5.289	-6.622	-7.6
	Shuttle Tanker roll (deg)	-0.478	-1.045	-2.066	-2.965	-4.187

**Tabel 4.40** Rangkuman kondisi kritis *tandem offloading* berdasarkan respon gerak pada kondisi 3 SSP *Ballast load- Shuttle Tanker Half Load* dengan konfigurasi *Catenary* (lanjutan)

Heading (°)	Nilai amplitudo signifikan					
	Moda Gerak	Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
90	SSP <i>sway (m)</i>	6.877	8.187	10.497	11.498	12.499
	SSP <i>heave (m)</i>	4.262	4.488	4.665	4.899	5.108
	SSP <i>roll (deg)</i>	4.772	4.803	4.862	4.923	4.98
	<i>Shuttle Takner sway (m)</i>	5.917	6.04	8.162	8.285	9.396
	<i>Shuttle Takner heave(m)</i>	-2.776	-2.899	-4.01	-4.909	-6.808
	<i>Shuttle Takner roll (deg)</i>	-3.413	-3.536	-3.749	-3.88	-4.002

**Tabel 4.41** Rangkuman kondisi kritis *tandem offloading* berdasarkan respon gerak pada kondisi 4 (SSP *Full Load load- Shuttle Tanker Ballast load* dengan konfigurasi *Taut*)

Heading (°)	Nilai amplitudo signifikan					
	Moda Gerak	Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
210	SSP <i>sway (m)</i>	-0.798	-0.918	-0.965	-0.998	-1.003
	SSP <i>heave (m)</i>	0.485	0.512	0.608	0.701	0.798
	SSP <i>roll (deg)</i>	0.065	0.066	0.073	0.133	0.133
	<i>Shuttle Takner sway (m)</i>	-2.193	-4.193	-6.504	-9.615	-10.832
	<i>Shuttle Takner heave(m)</i>	-2.413	-3.524	-5.635	-6.968	-7.946
	<i>Shuttle Takner roll (deg)</i>	0.233	0.8	1.821	2.72	3.942
330	SSP <i>sway (m)</i>	0.798	0.919	1.04	1.161	1.282
	SSP <i>heave (m)</i>	0.485	0.512	0.608	0.701	0.798
	SSP <i>roll (deg)</i>	0.065	0.066	0.073	0.133	0.133
	<i>Shuttle Takner sway (m)</i>	2.193	4.303	6.413	8.523	10.633
	<i>Shuttle Takner heave(m)</i>	-2.413	-3.524	-5.635	-6.968	-7.946
	<i>Shuttle Takner roll (deg)</i>	-0.233	-0.8	-1.821	-2.72	-3.942
90	SSP <i>sway (m)</i>	2.023	3.333	5.643	6.644	7.645
	SSP <i>heave (m)</i>	0.595	0.821	0.998	1.232	1.441
	SSP <i>roll (deg)</i>	2.194	2.225	2.284	2.345	2.402
	<i>Shuttle Takner sway (m)</i>	4.606	4.729	6.851	6.974	8.085
	<i>Shuttle Takner heave(m)</i>	-2.899	-3.022	-4.133	-5.032	-6.931
	<i>Shuttle Takner roll (deg)</i>	-2.315	-2.438	-2.651	-2.782	-2.904

**Tabel 4.42** Rangkuman kondisi kritis *tandem offloading* berdasarkan respon gerak pada kondisi 5 SSP *Full Load load- Shuttle Tanker Half Load* dengan konfigurasi *Taut*

	Nilai amplitudo signifikan					
Heading (°)	Moda Gerak	Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
210	SSP sway (m)	-1.008	-1.128	-1.175	-1.208	-1.213
	SSP heave (m)	0.695	0.722	0.818	0.911	1.008
	SSP roll (deg)	0.085	0.086	0.093	0.153	0.153
	Shuttle Tanker sway (m)	-2.073	-4.073	-6.384	-9.495	-10.712
	Shuttle Tanker heave(m)	-1.514	-2.625	-4.736	-6.069	-7.047
	Shuttle Tanker roll (deg)	0.222	0.789	1.81	2.709	3.931
330	SSP sway (m)	1.008	1.119	1.23	1.341	1.452
	SSP heave (m)	0.695	0.722	0.818	0.911	1.008
	SSP roll (deg)	0.085	0.086	0.093	0.153	0.153
	Shuttle Tanker sway (m)	2.073	4.184	6.295	8.406	10.517
	Shuttle Tanker heave(m)	-1.514	-2.625	-4.736	-6.069	-7.047
	Shuttle Tanker roll (deg)	-0.222	-0.789	-1.81	-2.709	-3.931
90	SSP sway (m)	3.362	4.672	6.982	7.983	8.984
	SSP heave (m)	1.828	2.054	2.231	2.465	2.674
	SSP roll (deg)	2.317	2.348	2.407	2.468	2.525
	Shuttle Tanker sway (m)	3.707	3.83	5.952	6.075	7.186
	Shuttle Tanker heave(m)	-2.776	-2.899	-4.01	-4.909	-6.808
	Shuttle Tanker roll (deg)	-2.303	-2.426	-2.639	-2.77	-2.892

**Tabel 4.43** Rangkuman kondisi kritis *tandem offloading* berdasarkan respon gerak pada kondisi 6 SSP *Ballast load- Shuttle Tanker Full Load* dengan konfigurasi *Taut*

	Nilai amplitudo signifikan					
Heading (°)	Moda Gerak	Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
210	SSP sway (m)	-1.009	-1.129	-1.176	-1.209	-1.214
	SSP heave (m)	0.806	0.833	0.929	1.022	1.119
	SSP roll (deg)	0.074	0.075	0.082	0.142	0.142
	Shuttle Tanker sway (m)	-1.953	-3.953	-6.264	-9.375	-10.592
	Shuttle Tanker heave(m)	-1.391	-2.502	-4.613	-5.946	-6.924
	Shuttle Tanker roll (deg)	0.22	0.787	1.808	2.707	3.929

**Tabel 4.43** Rangkuman kondisi kritis *tandem offloading* berdasarkan respon gerak pada kondisi 6 SSP *Ballast load- Shuttle Tanker Full Load* dengan konfigurasi *Taut* (lanjutan)

	Nilai amplitudo signifikan					
Heading (°)	Moda Gerak	Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
330	SSP sway (m)	1.009	1.12	1.231	1.342	1.453
	SSP heave (m)	0.806	0.833	0.929	1.022	1.119
	SSP roll (deg)	0.074	0.075	0.082	0.142	0.142
	Shuttle Tanker sway (m)	1.953	3.852	5.751	7.65	9.549
	Shuttle Tanker heave(m)	-1.391	-2.502	-4.613	-5.946	-6.924
	Shuttle Tanker roll (deg)	-0.22	-0.787	-1.808	-2.707	-3.929
90	SSP sway (m)	4.261	5.571	7.881	8.882	9.883
	SSP heave (m)	1.951	2.177	2.354	2.588	2.797
	SSP roll (deg)	2.439	2.47	2.529	2.59	2.647
	Shuttle Tanker sway (m)	3.584	3.707	5.829	5.952	7.063
	Shuttle Tanker heave(m)	-2.653	-2.776	-3.887	-4.786	-6.685
	Shuttle Tanker roll (deg)	-2.18	-2.303	-2.516	-2.647	-2.769

Berdasarkan simulasi, maka dapat disimpulkan bahwa operasi *tandem offloading* SSP dengan *Shuttle Tanker* baik dengan konfigurasi *Taut* dan *Catenary* aman dilakukan pada semua kondisi pembebanan dan tinggi gelombang signifikan (tidak terjadi tabrakan antara *Shuttle Tanker* dan SSP).

#### 4.6.8 Tension Mooring Line Kondisi 1 (SSP Full Load- Shuttle Tanker ballast dengan konfigurasi Catenary)

Analisis *tension* tali tambat pada struktur yang diamati sangat penting dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem tambat tersebut bekerja. Pada penelitian ini, dilakukan analisis pada 12 tali tambat yang terpasang pada struktur SSP. Analisis dilakukan dengan mengolah hasil time history selama 3 jam untuk mendapatkan nilai signifikan pada setiap tali untuk setiap skenario analisis. Pada arah pembebanan 90° nilai *tension* terbesar berada pada kelompok *line* 9-12. Pada arah pembebanan 210°, *tension* terbesar dialami pada kelompok *mooring line* 5-8, menyusul kedua adalah kelompok *mooring line* 9-12, dan terakhir kelompok *mooring line* 1-4. *tension* tali tambat akan bertambah seiring dengan

bertambahnya tingi gelombang signifikan dan berkurangnya muatan hidrokarbon dalam struktur.

Pada Tabel 4.44 diberikan nilai *tension* signifikan dari struktur dengan konfigurasi sistem tambat *Catenary* dengan muatan SSP *Full Load* dan *Shuttle Tanker ballast*, yang diwakilkan oleh tren dengan *mooring line* terbesar yaitu *mooring line 9* (Gambar 4.106).

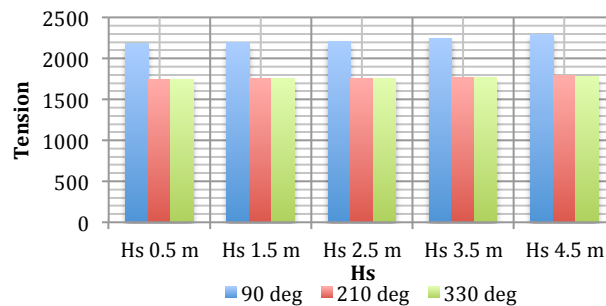
**Tabel 4.44** Nilai *tension mooring line* kondisi SSP *Full Load- Shuttle Tanker ballast* dengan konfigurasi *Catenary*

Heading	Line	Nilai <i>tension</i> signifikan (kN)				
		Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
210°	1	1817.2	1820.85	1824.18	1829.13	1836.19
	2	1816.2	1819.85	1823.18	1828.13	1833.98
	3	1816.32	1819.97	1823.3	1828.26	1832.95
	4	1817.55	1821.2	1824.53	1829.49	1837.16
	5	2179.48	2191.35	2208.96	2242.8	2289.19
	6	2178.25	2190.12	2207.73	2241.57	2287.66
	7	2178.14	2190.01	2207.62	2241.46	2286.33
	8	2178.74	2190.57	2208.2	2242.04	2291.53
	9	1749.15	1754.23	1758.32	1764.82	1787.6
	10	1760.96	1765.67	1769.74	1776.04	1783.39
	11	1830.03	1833.84	1837.1	1842.25	1781.28
	12	1688.53	1691.25	1694.33	1698.23	1785.59
330°	1	2179.36	2191.23	2208.83	2242.67	2289.07
	2	2178.13	2190	2207.6	2241.44	2287.54
	3	2178.02	2189.89	2207.49	2241.33	2286.21
	4	2178.61	2190.45	2208.08	2241.92	2291.41
	5	1816.08	1819.72	1823.06	1828.01	1833.86
	6	1816.2	1819.85	1823.18	1828.13	1832.83
	7	1817.43	1821.08	1824.41	1829.36	1837.04
	8	1746.92	1752	1756.09	1762.59	1783.49
	9	1758.73	1763.44	1767.51	1773.8	1781.16
	10	1827.8	1831.6	1834.87	1840.02	1783.37
	11	1686.3	1689.02	1692.1	1696	1700.27
	12	1662.49	1665.31	1667.29	1672.12	1823.88



Tabel 4.44 Nilai *tension mooring line* kondisi SSP Full Load- Shuttle Tanker ballast dengan konfigurasi *Catenary* (lanjutan)

Heading	Line	Nilai <i>tension</i> signifikan (kN)				
		Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
90°	1	1735.71	1740.35	1727.62	1750.55	1820.64
	2	1738.1	1743.03	1747.32	1753.84	1824.85
	3	1739.84	1744.92	1749.01	1755.51	1778.29
	4	1751.65	1756.36	1760.43	1766.73	1774.08
	5	1680.43	1683.15	1686.23	1690.13	1771.97
	6	1679.22	1681.94	1685.02	1688.92	1776.28
	7	1679.19	1681.91	1684.99	1688.89	1776.25
	8	1680.42	1683.14	1686.22	1690.12	1777.48
	9	2180.25	2192.12	2209.72	2243.56	2289.96
	10	2179.02	2190.89	2208.49	2242.33	2288.43
	11	2178.91	2190.78	2208.38	2242.22	2287.1
	12	2179.5	2191.34	2208.97	2242.81	2292.3



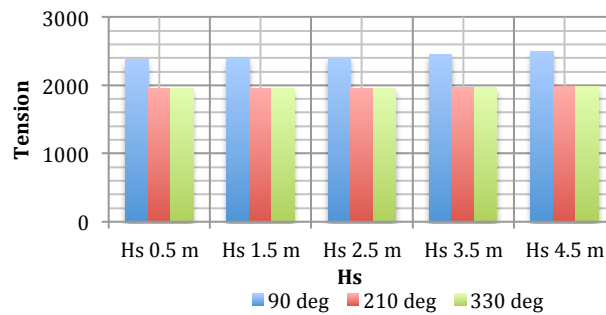
**Gambar 4.106** *Tension* pada *mooring line* 9 pada setiap tinggi gelombang signifikan pada SSP Full Load- Shuttle Tanker ballast konf. *Catenary*

#### 4.6.9 *Tension Mooring Line* Kondisi 2 (SSP Ballast load- Shuttle Tanker Half Load dengan konfigurasi *Catenary*)

Pada umumnya, *tension* akan mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya tinggi gelombang signifikan dan berkurangnya muatan hidrokarbon. Oleh karena itu, penjelasan mengenai *tension* pada kondisi 2 (SSP bermuatan *Ballast – Shuttle Tanker Half Load* dengan konfigurasi *Catenary*) tidak lagi dijelaskan pada bagian ini. Pada Tabel 4.45 diberikan nilai *tension* signifikan dari struktur dengan konfigurasi sistem tambat *Catenary* dengan muatan SSP *Ballast*, yang diwakili oleh tren dengan *mooring line* terbesar yaitu *mooring line* 9 (Gambar 4.107).

**Tabel 4.45** Nilai *tension mooring line* SSP kondisi 2 (SSP *Ballast load- Shuttle Tanker Half Load* dengan konfigurasi *Catenary*)

Heading	Line	Nilai <i>tension</i> signifikan (kN)				
		Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
210°	1	2017.42	2021.07	2024.4	2029.35	2036.41
	2	2016.42	2020.07	2023.4	2028.35	2034.2
	3	2016.54	2020.19	2023.52	2028.48	2033.17
	4	2017.77	2021.42	2024.75	2029.71	2037.38
	5	2379.7	2391.57	2409.18	2443.02	2489.41
	6	2378.47	2390.34	2407.95	2441.79	2487.88
	7	2378.36	2390.23	2407.84	2441.68	2486.55
	8	2378.96	2390.79	2408.42	2442.26	2491.75
	9	1949.37	1954.45	1958.54	1965.04	1987.82
	10	1961.18	1965.89	1969.96	1976.26	1983.61
	11	2030.25	2034.06	2037.32	2042.47	1981.5
	12	1888.75	1891.47	1894.55	1898.45	1985.81
330°	1	2379.58	2391.45	2409.05	2442.89	2489.29
	2	2378.35	2390.22	2407.82	2441.66	2487.76
	3	2378.24	2390.11	2407.71	2441.55	2486.43
	4	2378.83	2390.67	2408.3	2442.14	2491.63
	5	2017.3	2020.94	2024.28	2029.23	2036.29
	6	2016.3	2019.94	2023.28	2028.23	2034.08
	7	2016.42	2020.07	2023.4	2028.35	2033.05
	8	2017.65	2021.3	2024.63	2029.58	2037.26
	9	1947.14	1952.22	1956.31	1962.81	1983.71
	10	1958.95	1963.66	1967.73	1974.02	1981.38
	11	2028.02	2031.82	2035.09	2040.24	1983.59
	12	1886.52	1889.24	1892.32	1896.22	1900.49
90°	1	1862.71	1865.53	1867.51	1872.34	2024.1
	2	2004.11	2007.76	2011.09	2016.04	2021.89
	3	1935.93	1940.57	1927.84	1950.77	2020.86
	4	1938.32	1943.25	1947.54	1954.06	2025.07
	5	1940.06	1945.14	1949.23	1955.73	1978.51
	6	1951.87	1956.58	1960.65	1966.95	1974.3
	7	2020.94	2024.74	2028.01	2033.16	1972.19
	8	1879.44	1882.16	1885.24	1889.14	1976.5
	9	2380.47	2392.34	2409.94	2443.78	2490.18
	10	2379.24	2391.11	2408.71	2442.55	2488.65
	11	2379.13	2391	2408.6	2442.44	2487.32
	12	2379.72	2391.56	2409.19	2443.03	2492.52



**Gambar 4.107** Tension pada mooring line 9 pada setiap tinggi gelombang signifikan pada SSP Ballast load- Shuttle Tanker half load dengan konfigurasi Catenary

#### 4.6.10 Tension Mooring Line Kondisi 3 (SSP Ballast load- Shuttle Tanker Full Load dengan konfigurasi Catenary)

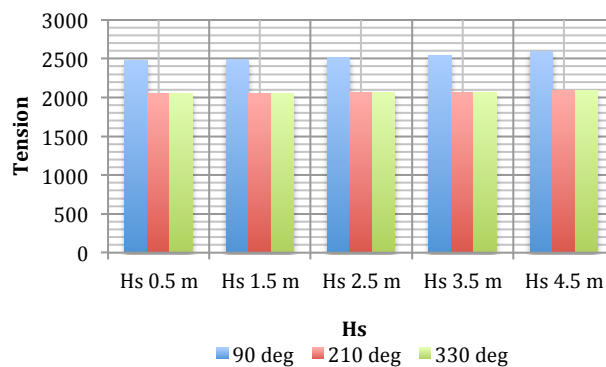
Pada Tabel 4.46 diberikan nilai *tension* signifikan dari struktur dengan konfigurasi sistem tambat *Taut* dengan muatan SSP Ballast load dan Shuttle Tanker bermuatan Full Load melakukan aktivitas *offloading tandem*, yang diwakilkan oleh tren dengan mooring line terbesar yaitu mooring line 9 (Gambar 4.108).

**Tabel 4.46** Nilai *tension* mooring line pada saat kondisi 3 SSP Ballast load- Shuttle Tanker Full Load dengan konfigurasi Catenary

Heading	Line	Nilai <i>tension</i> signifikan				
		Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
210°	1	2117.78	2121.43	2124.76	2129.71	2136.77
	2	2117.52	2121.17	2124.5	2129.45	2135.3
	3	2117.64	2121.29	2124.62	2129.58	2134.27
	4	2118.87	2122.52	2125.85	2130.81	2138.48
	5	2480.8	2492.67	2510.28	2544.12	2590.51
	6	2479.57	2491.44	2509.05	2542.89	2588.98
	7	2479.46	2491.33	2508.94	2542.78	2587.65
	8	2480.06	2491.89	2509.52	2543.36	2592.85
	9	2050.47	2055.55	2059.64	2066.14	2088.92
	10	2062.28	2066.99	2071.06	2077.36	2084.71
	11	2131.36	2135.16	2138.42	2143.57	2082.6
	12	1989.85	1992.57	1995.65	1999.55	2086.91

**Tabel 4.46** Nilai *tension mooring line* pada saat kondisi 3 SSP *Ballast load-Shuttle Tanker Full Load* dengan konfigurasi *Catenary* (lanjutan)

Heading	Line	Nilai <i>tension</i> signifikan				
		Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
330°	1	2480.68	2492.55	2510.16	2544	2590.39
	2	2479.45	2491.32	2508.93	2542.77	2588.86
	3	2479.34	2491.21	2508.81	2542.65	2587.53
	4	2479.93	2491.77	2509.4	2543.24	2592.73
	5	2118.4	2122.05	2125.38	2130.33	2137.39
	6	2117.4	2121.05	2124.38	2129.33	2135.18
	7	2117.52	2121.17	2124.5	2129.45	2134.15
	8	2118.75	2122.4	2125.73	2130.68	2138.36
	9	2048.24	2053.32	2057.41	2063.91	2084.81
	10	2060.05	2064.76	2068.83	2075.13	2082.48
	11	2129.12	2132.92	2136.19	2141.34	2084.69
	12	1987.62	1990.34	1993.42	1997.32	2001.59
90°	1	1963.82	1966.63	1968.61	1973.44	2125.2
	2	2105.21	2105.21	2112.19	2117.14	2122.99
	3	2037.04	2041.67	2028.94	2051.87	2121.96
	4	2039.42	2044.35	2048.64	2055.16	2126.17
	5	2041.16	2046.24	2050.33	2056.83	2079.61
	6	2052.97	2057.68	2061.75	2068.05	2075.4
	7	2122.04	2125.85	2129.11	2134.26	2073.29
	8	1980.54	1983.26	1986.34	1990.24	2077.6
	9	2481.57	2493.44	2511.05	2544.89	2591.28
	10	2480.34	2492.21	2509.82	2543.66	2589.75
	11	2480.23	2492.1	2509.7	2543.54	2588.42
	12	2480.82	2492.66	2510.29	2544.13	2593.62



**Gambar 4.108** *Tension* pada *mooring line* 9 pada setiap tinggi gelombang signifikan pada SSP *Ballast load-Shuttle Tanker Full Load* dengan konfigurasi *Catenary*

#### 4.6.11 *Tension Mooring Line* Kondisi 4 (SSP Full Load- Shuttle Tanker Ballast load dengan konfigurasi Taut)

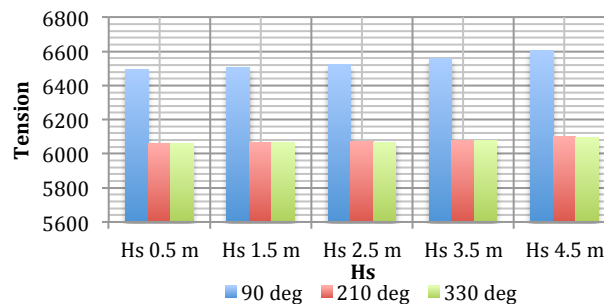
Pada Tabel 4.47 diberikan nilai *tension* signifikan dari struktur dengan konfigurasi sistem tambat *Taut* dengan muatan SSP Full Load dan Shuttle Tanker bermuatan *Ballast load* dan melakukan aktivitas *offloading tandem*, yang diwakilkan oleh tren dengan *mooring line* terbesar yaitu *mooring line* 9 (Gambar 4.109).

**Tabel 4.47** Nilai *tension mooring line* SSP kondisi 4 (SSP Full Load- Shuttle Tanker Ballast load dengan konfigurasi Taut)

Heading	Line	Nilai <i>tension</i> signifikan				
		Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
210°	1	6129.42	6133.07	6136.4	6141.35	6148.41
	2	6128.42	6132.07	6135.4	6140.35	6146.2
	3	6128.54	6132.19	6135.52	6140.47	6145.17
	4	6129.77	6133.42	6136.75	6141.7	6149.38
	5	6491.7	6503.57	6521.18	6555.02	6601.41
	6	6490.47	6502.34	6519.95	6553.79	6599.88
	7	6490.36	6502.23	6519.84	6553.68	6598.55
	8	6490.96	6502.79	6520.42	6554.26	6603.75
	9	6061.37	6066.45	6070.54	6077.04	6099.82
	10	6073.18	6077.89	6081.96	6088.26	6095.61
	11	6142.25	6146.05	6149.32	6154.47	6093.5
	12	6000.75	6003.47	6006.55	6010.45	6097.81
330°	1	6491.58	6503.45	6521.05	6554.89	6601.29
	2	6490.35	6502.22	6519.82	6553.66	6599.76
	3	6490.24	6502.11	6519.71	6553.55	6598.43
	4	6490.83	6502.67	6520.29	6554.14	6603.63
	5	6129.3	6132.94	6136.28	6141.23	6148.29
	6	6128.3	6131.94	6135.28	6140.23	6146.08
	7	6128.42	6132.07	6135.4	6140.35	6145.05
	8	6129.65	6133.3	6136.63	6141.58	6149.26
	9	6059.14	6064.22	6068.31	6074.81	6095.71
	10	6070.95	6075.66	6079.73	6086.02	6093.38
	11	6140.02	6143.82	6147.09	6152.23	6095.59
	12	5998.52	6001.24	6004.32	6008.21	6012.49

**Tabel 4.47** Nilai *tension mooring line* SSP kondisi 4 (SSP Full Load- Shuttle Tanker Ballast load dengan konfigurasi Taut) (lanjutan)

Heading	Line	Nilai <i>tension</i> signifikan				
		Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
90°	1	6075.81	6078.63	6080.61	6085.44	6237.2
	2	6217.21	6220.86	6224.19	6229.14	6234.99
	3	6149.03	6153.67	6140.94	6163.87	6233.96
	4	6151.42	6156.35	6160.64	6167.16	6238.17
	5	6153.16	6158.24	6162.33	6168.83	6191.61
	6	6164.97	6169.68	6173.75	6180.05	6187.4
	7	6234.04	6237.84	6241.11	6246.26	6185.29
	8	6092.54	6095.26	6098.34	6102.24	6189.6
	9	6492.81	6504.68	6522.28	6556.12	6602.52
	10	6491.58	6503.45	6521.05	6554.89	6600.99
	11	6491.47	6503.34	6520.94	6554.78	6599.66
	12	6492.06	6503.9	6521.52	6555.37	6604.86



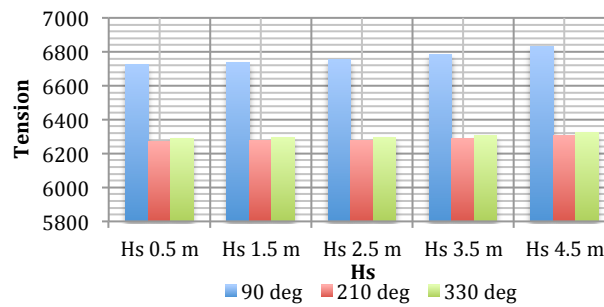
**Gambar 4.109** Tension pada *mooring line* 9 pada setiap tinggi gelombang signifikan pada SSP Full Load- Shuttle Tanker Ballast load dengan konfigurasi Taut

#### 4.6.12 Tension Mooring Line Kondisi 5 (SSP Ballast load- Shuttle Tanker half load dengan konfigurasi Taut)

Pada Tabel 4.48 diberikan nilai *tension* signifikan dari struktur dengan konfigurasi sistem tambat Taut dengan muatan SSP Ballast dan Shuttle Tanker bermuatan Half Load dan melakukan aktivitas *offloading tandem*, yang diwakilkan oleh tren dengan *mooring line* terbesar yaitu *mooring line* 9 (Gambar 4.110).

**Tabel 4.48** Nilai *tension mooring line* SSP kondisi SSP *Ballast load- Shuttle Tanker half load* dengan konfigurasi *Taut*

Heading	Line	Nilai <i>tension</i> signifikan (kN)				
		Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
210°	1	6338.55	6342.2	6345.53	6350.48	6357.54
	2	6337.55	6341.2	6344.53	6349.48	6355.33
	3	6337.67	6341.32	6344.65	6349.61	6354.3
	4	6338.9	6342.55	6345.88	6350.84	6358.51
	5	6700.83	6712.7	6730.31	6764.15	6810.54
	6	6699.6	6711.47	6729.08	6762.92	6809.01
	7	6699.49	6711.36	6728.97	6762.81	6807.68
	8	6700.09	6711.92	6729.55	6763.39	6812.88
	9	6270.5	6275.58	6279.67	6286.17	6308.95
	10	6282.31	6287.02	6291.09	6297.39	6304.74
	11	6351.39	6355.19	6358.45	6363.6	6302.63
	12	6209.88	6212.6	6215.68	6219.58	6306.94
330°	1	6720.71	6732.58	6750.19	6784.03	6830.42
	2	6719.48	6731.35	6748.96	6782.8	6828.89
	3	6719.37	6731.24	6748.84	6782.68	6827.56
	4	6719.96	6731.8	6749.43	6783.27	6832.76
	5	6358.43	6362.08	6365.41	6370.36	6377.42
	6	6357.43	6361.08	6364.41	6369.36	6375.21
	7	6357.55	6361.2	6364.53	6369.48	6374.18
	8	6358.78	6362.43	6365.76	6370.71	6378.39
	9	6288.27	6293.35	6297.44	6303.94	6324.84
	10	6300.08	6304.79	6308.86	6315.16	6322.51
	11	6369.15	6372.95	6376.22	6381.37	6324.72
	12	6227.65	6230.37	6233.45	6237.35	6241.62
90°	1	6308.74	6311.55	6313.53	6318.36	6470.12
	2	6450.13	6453.78	6457.11	6462.06	6467.91
	3	6381.96	6386.59	6373.86	6396.79	6466.88
	4	6384.34	6389.27	6393.56	6400.08	6471.09
	5	6386.08	6391.16	6395.25	6401.75	6424.53
	6	6397.89	6402.6	6406.67	6412.97	6420.32
	7	6466.97	6470.77	6474.03	6479.18	6418.21
	8	6325.46	6328.18	6331.26	6335.16	6422.52
	9	6721.94	6733.81	6751.42	6785.26	6831.65
	10	6720.71	6732.58	6750.19	6784.03	6830.12
	11	6720.6	6732.47	6750.07	6783.91	6828.79
	12	6721.19	6733.03	6750.66	6784.5	6833.99



**Gambar 4.110** *Tension pada mooring line 9 pada setiap tinggi gelombang signifikan pada SSP bermuatan Ballast load – ST Half Load*

#### 4.6.13 *Tension Mooring Line* Kondisi 6 (SSP Ballast load- Shuttle Tanker Full Load dengan konfigurasi Taut)

Pada Tabel 4.49 diberikan ilai *tension* signifikan dari struktur dengan konfigurasi sistem tambat *Taut* dengan muatan SSP *Ballast* dan *Shuttle Tanker* bermuatan *Full Load* dan melakukan aktivitas *offloading tandem*, yang diwakilkan oleh tren dengan *mooring line* terbesar yaitu *mooring line 9* (Gambar 4.111).

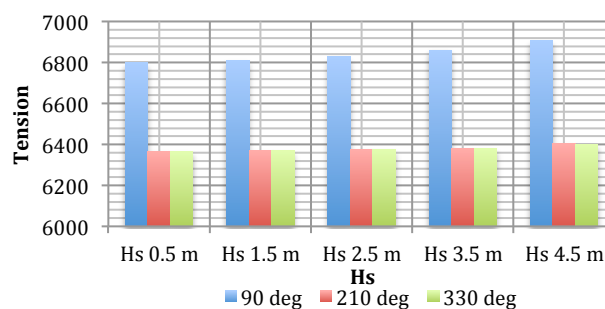
**Tabel 4.49** Nilai *tension moring line* kondisi SSP *Ballast load- Shuttle Tanker full load* dengan konfigurasi *Taut*

Heading	Line	Nilai <i>tension</i> signifikan (kN)				
		Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
210°	1	6434.74	6438.39	6441.72	6446.67	6453.73
	2	6433.74	6437.39	6440.72	6445.67	6451.52
	3	6433.86	6437.51	6440.84	6445.8	6450.49
	4	6435.09	6438.74	6442.07	6447.03	6454.7
	5	6797.02	6808.89	6826.5	6860.34	6906.73
	6	6795.79	6807.66	6825.27	6859.11	6905.2
	7	6795.68	6807.55	6825.16	6859	6903.87
	8	6796.28	6808.11	6825.74	6859.58	6909.07
	9	6366.69	6371.77	6375.86	6382.36	6405.14
	10	6378.5	6383.21	6387.28	6393.58	6400.93
	11	6447.58	6451.38	6454.64	6459.79	6398.82
	12	6306.07	6308.79	6311.87	6315.77	6403.13



**Tabel 4.49** Nilai *tension mooring line* kondisi SSP *Ballast load- Shuttle Tanker full load* dengan konfigurasi *Taut* (lanjutan)

Heading	Line	Nilai <i>tension</i> signifikan (kN)				
		Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
330°	1	6796.9	6808.77	6826.38	6860.22	6906.61
	2	6795.67	6807.54	6825.15	6858.99	6905.08
	3	6795.56	6807.43	6825.03	6858.87	6903.75
	4	6796.15	6807.99	6825.62	6859.46	6908.95
	5	6434.62	6438.27	6441.6	6446.55	6453.61
	6	6433.62	6437.27	6440.6	6445.55	6451.4
	7	6433.74	6437.39	6440.72	6445.67	6450.37
	8	6434.97	6438.62	6441.95	6446.9	6454.58
	9	6364.46	6369.54	6373.63	6380.13	6401.03
	10	6376.27	6380.98	6385.05	6391.35	6398.7
	11	6445.34	6449.14	6452.41	6457.56	6400.91
	12	6303.84	6306.56	6309.64	6313.54	6317.81
90°	1	6381.14	6383.95	6385.93	6390.76	6542.52
	2	6522.53	6526.18	6529.51	6534.46	6540.31
	3	6454.36	6458.99	6446.26	6469.19	6539.28
	4	6456.74	6461.67	6465.96	6472.48	6543.49
	5	6458.48	6463.56	6467.65	6474.15	6496.93
	6	6470.29	6475	6479.07	6485.37	6492.72
	7	6539.37	6543.17	6546.43	6551.58	6490.61
	8	6397.86	6400.58	6403.66	6407.56	6494.92
	9	6798.13	6810	6827.61	6861.45	6907.84
	10	6796.9	6808.77	6826.38	6860.22	6906.31
	11	6796.79	6808.66	6826.26	6860.1	6904.98
	12	6797.38	6809.22	6826.85	6860.69	6910.18



**Gambar 4.111** *Tension* pada *mooring line* 9 pada setiap tinggi gelombang signifikan pada SSP bermuatan *ballast* – ST *Full Load*

## 4.7 OPERABILITAS

Nilai operabilitas dalam penelitian ini terbagi menjadi dua yakni berdasarkan respon gerak dan *tension*. Pengecekan nilai *safety factor* yang dilakukan mengacu kepada nilai *tension* terbesar yang terjadi pada setiap arah pembebanan dan setiap tinggi gelombang signifikan yang terjadi.

Berikut penulis lampirkan skenario kondisi pembebanan:

- a) Kondisi 1 = SSP bermuatan *Full Load* – ST *ballast* dan dengan konfigurasi *mooring Catenary*
- b) Kondisi 2 = SSP bermuatan *Ballast load* – ST *Half Load* dan dengan konfigurasi *mooring Catenary*
- c) Kondisi 3 = SSP bermuatan *Ballast load* – ST *Full Load* dan dengan konfigurasi *mooring Catenary*
- d) Kondisi 4 = SSP bermuatan *Full Load* – ST *Ballast load* dan dengan konfigurasi *mooring Taut*
- e) Kondisi 5 = SSP bermuatan *Ballast load* – ST *Half Load* dan dengan konfigurasi *mooring Taut*
- f) Kondisi 6 = SSP bermuatan *Ballast load* – ST *Full Load* dan dengan konfigurasi *mooring Taut*

### 4.7.1 Pengecekan *mooring line* Berdasarkan *Safety Factor*

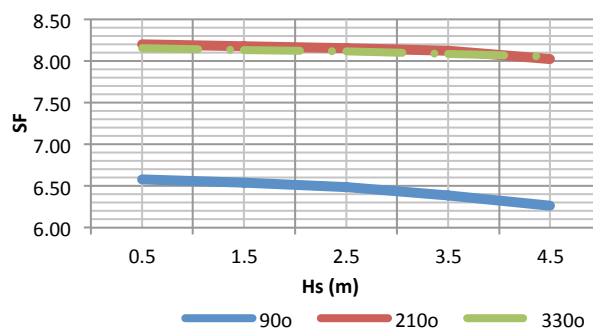
Setelah menganalisis besarnya *tension* yang terjadi baik pada *mooring line* maupun pada tali tambat kapal, diperlukan adanya pengecekan untuk mengetahui apakah sistem tambat berada dalam batas aman. Pengecekan *safety factor* mengacu kepada nilai *tension* terbesar pada setiap skenario dan dapat dilihat pada tabel 4.50. Berikut penulis tampilkan grafik hubungan *safety factor* dengan tinggi gelombang signifikan yang mengenai struktur (Gambar 4.112):

**Tabel 4.50** Rangkuman nilai *safety factor* pada setiap kondisi

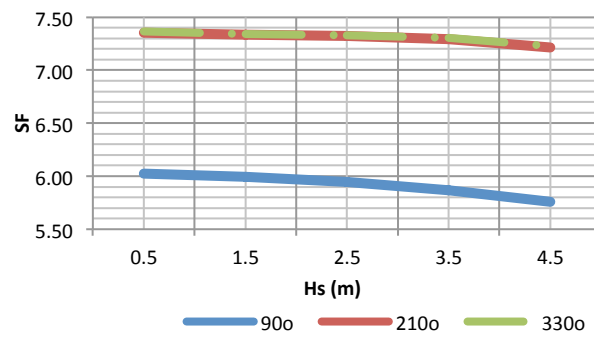
Kondisi 1 (SSP <i>Full Load</i> -ST <i>ballast</i> konfigurasi <i>Catenary</i> )			
<i>Hs/Heading</i>	90°	210°	330°
0.5	6.58	8.2	8.15
1.5	6.54	8.17	8.13
2.5	6.49	8.15	8.11
3.5	6.39	8.12	8.08
4.5	6.26	8.02	8.05

**Tabel 4.50** Rangkuman nilai *safety factor* pada setiap kondisi (lanjutan)

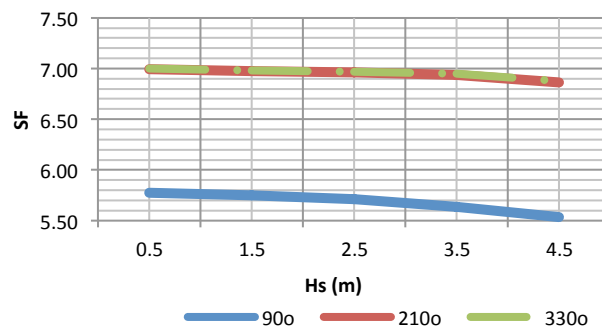
Kondisi 2 (SSP <i>Ballast load</i> -ST <i>Half Load</i> konfigurasi <i>Catenary</i> )			
Hs/Heading	90°	210°	330°
0.5	6.02	7.35	7.36
1.5	5.99	7.34	7.34
2.5	5.95	7.32	7.33
3.5	5.87	7.3	7.3
4.5	5.76	7.21	7.23
Kondisi 3 (SSP <i>Ballast load</i> -ST <i>Full Load</i> konfigurasi <i>Catenary</i> )			
Hs/Heading	90°	210°	330°
0.5	5.78	6.99	7
1.5	5.75	6.97	6.98
2.5	5.71	6.96	6.97
3.5	5.63	6.94	6.95
4.5	5.53	6.86	6.88
Kondisi 4 (SSP <i>Full Load</i> -ST <i>ballast</i> konfigurasi <i>Taut</i> )			
Hs/Heading	90°	210°	330°
0.5	2.21	2.29	2.37
1.5	2.2	2.28	2.36
2.5	2.2	2.28	2.36
3.5	2.19	2.28	2.36
4.5	2.17	2.27	2.35
Kondisi 5 (SSP <i>Ballast load</i> -ST <i>Half Load</i> konfigurasi <i>Taut</i> )			
Hs/Heading	90°	210°	330°
0.5	2.13	2.28	2.28
1.5	2.13	2.28	2.28
2.5	2.12	2.28	2.28
3.5	2.11	2.27	2.27
4.5	2.1	2.27	2.27
Kondisi 6 (SSP <i>Ballast load</i> -ST <i>Full Load</i> konfigurasi <i>Taut</i> )			
Hs/Heading	90°	210°	330°
0.5	2.11	2.25	2.25
1.5	2.11	2.25	2.25
2.5	2.1	2.25	2.25
3.5	2.09	2.25	2.25
4.5	2.08	2.24	2.24



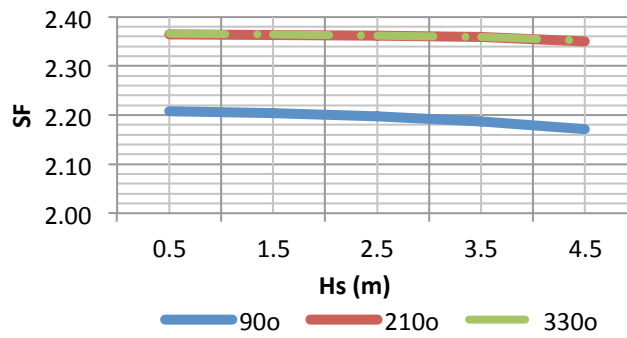
(a)



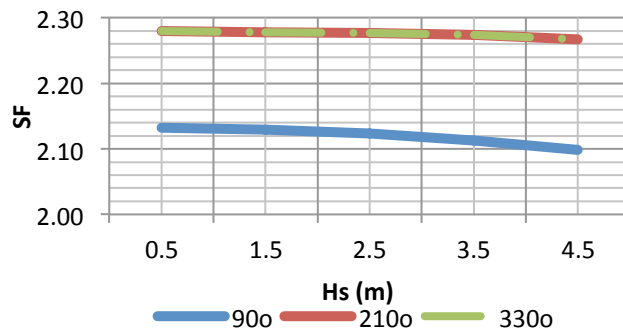
(b)



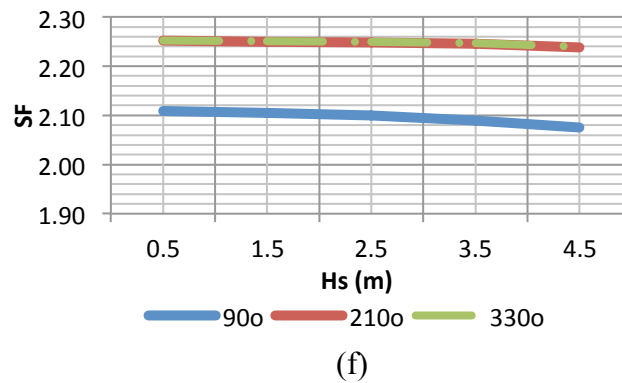
(c)



(d)



(e)

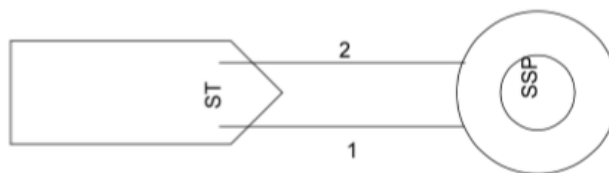


**Gambar 4.112** Hubungan *safety factor* dengan tinggi gelombang signifikan pada kondisi 1 (a), kondisi 2 (b), kondisi 3 (c), kondisi 4 (d), kondisi 5 (e), dan kondisi 6 (f)

Berdasarkan hasil penelitian, dapat diketahui bahwa struktur dengan konfigurasi *mooring line Taut* memiliki *safety factor* yang lebih riskan mendekati batas aman menurut API RP2SK ( $SF > 1.67$ ). *Safety factor* akan semakin kecil seiring dengan meningkatnya *tension* yang dialami oleh *mooring line*. Dengan begitu, dapat disimpulkan bahwa *safety factor* akan semakin berkurang seiring dengan meningkatnya tinggi gelombang signifikan.

#### 4.7.2 Pengecekan *Hawser* Berdasarkan *Safety Factor*

Selain *mooring line*, pengecekan terhadap tali tambat/ *hawser* harus dilakukan untuk mengetahui apakah *tension* yang terjadi masih berada dalam batas aman atau tidak (di bawah *safety factor*)



**Gambar 70** Penempatan *hawser* pada struktur

Berikut pada Tabel 4.51 diberikan *tension* yang terjadi pada *hawser* pada semua kondisi

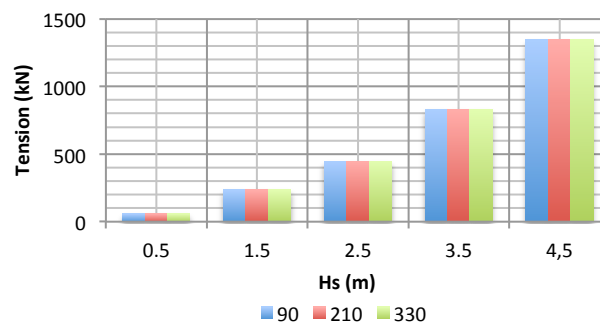
**Tabel 4.51** Besar *tension* pada *hawser* di semua kondisi

Kondisi 1 (SSP Full Load - ST ballast konf. Catenary)						
Heading (°)	Line	Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
90	1	60.55	235.64	448.61	831.47	1344.9
	2	60.34	235.43	448.4	831.26	1344.69
210	1	60.24	235.33	448.3	831.16	1344.59
	2	60.03	235.12	448.09	830.95	1344.38
330	1	60.13	235.22	448.19	831.05	1344.48
	2	59.92	235.01	447.98	830.84	1344.27
Kondisi 2 (SSP Ballast load - ST Half Load konf. Catenary)						
Heading (°)	Line	Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
90	1	68.62	336.11	609.23	991.43	1722.29
	2	68.41	335.9	609.02	991.22	1722.08
210	1	68.31	335.8	608.92	991.12	1721.98
	2	68.1	335.59	608.71	990.91	1721.77
330	1	68.2	335.69	608.81	991.01	1721.87
	2	68.43	335.92	609.04	991.24	1722.1
Kondisi 3 (SSP Ballast load- ST Full Load konf. Catenary)						
Heading (°)	Line	Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
90	1	73.75	422.23	741.29	1340.46	2476.06
	2	73.54	422.02	741.08	1340.25	2475.85
210	1	73.44	421.92	740.98	1340.15	2475.75
	2	73.23	421.71	740.77	1339.94	2475.54
330	1	73.41	421.89	740.95	1340.12	2475.72
	2	73.2	421.68	740.74	1339.91	2475.51
Kondisi 4 (SSP Full Load - ST ballast konf. Taut)						
Heading (°)	Line	Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
90	1	60.07	235.16	448.13	830.99	1344.42
	2	59.86	234.95	447.92	830.78	1344.21
210	1	59.76	234.85	447.82	830.68	1344.11
	2	59.55	234.64	447.61	830.47	1343.9
330	1	59.65	234.74	447.71	830.57	1344
	2	59.44	234.53	447.5	830.36	1343.79
Kondisi 5 (SSP Ballast load - ST Half Load konf. Taut)						
Heading (°)	Line	Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
90	1	68.14	335.63	608.75	990.95	1721.81
	2	67.93	335.42	608.54	990.74	1721.6
210	1	67.83	335.32	608.44	990.64	1721.5
	2	67.62	335.11	608.23	990.43	1721.29
330	1	67.72	335.21	608.33	990.53	1721.39
	2	67.95	335.44	608.56	990.76	1721.62

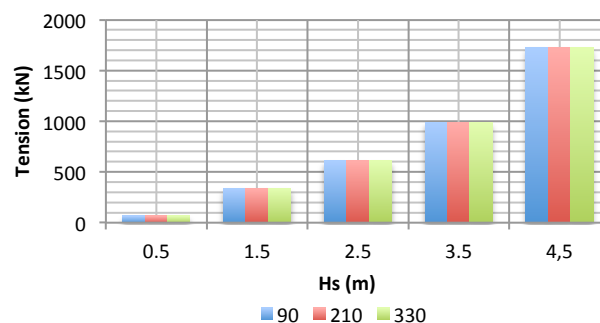
**Tabel 4.51** Besar *tension* pada *hawser* di semua kondisi (lanjutan)

Kondisi 6 (SSP Ballast load- ST Full Load konf. Taut)						
Heading	Line	Hs 0.5 m	Hs 1.5 m	Hs 2.5 m	Hs 3.5 m	Hs 4.5 m
90	1	73.06	421.54	740.6	1339.77	2475.37
	2	72.95	421.43	740.49	1339.66	2475.26
210	1	72.96	421.44	740.5	1339.67	2475.27
	2	72.75	421.23	740.29	1339.46	2475.06
330	1	72.85	421.33	740.39	1339.56	2475.16
	2	72.8	421.28	740.34	1339.51	2475.11

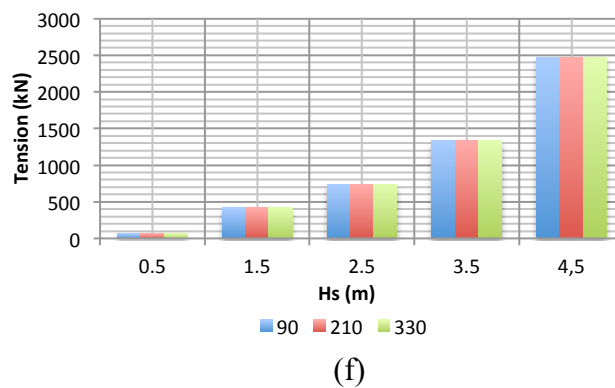
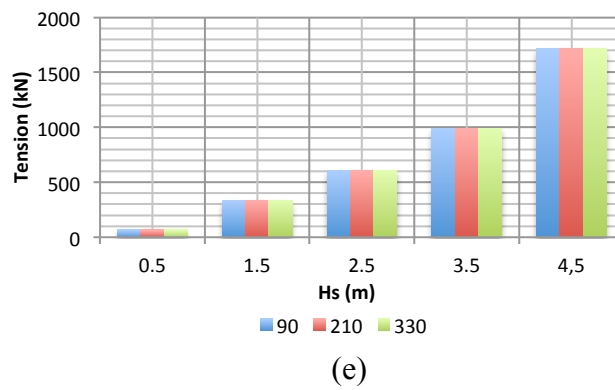
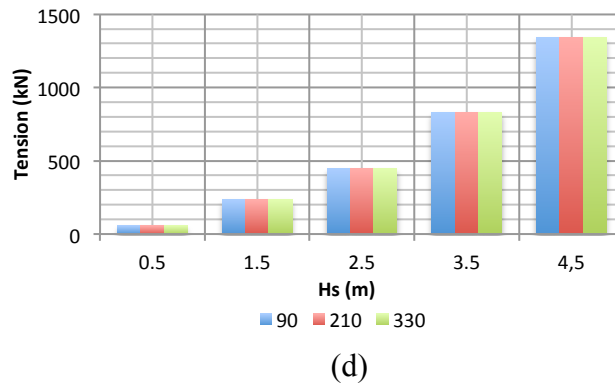
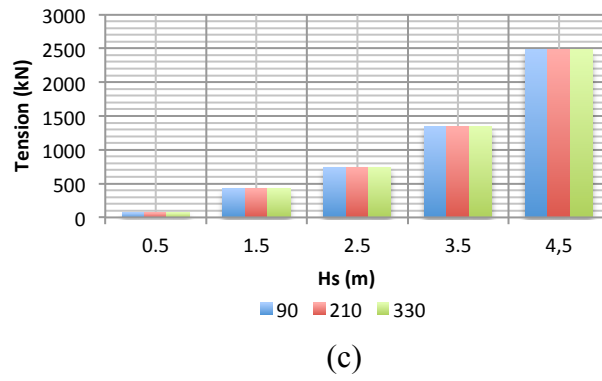
Sama halnya dengan analisis *tension* pada *mooring line*, analisis terhadap *tension* tali tambat kapal pada setiap skenario diwakili oleh satu *line* saja yakni *line* dengan *tension* terbesar. Berikut ini grafik *tension* untuk setiap skenario. Dari hasil di atas dapat diketahui bahwa besar *tension* yang terjadi pada *hawser* akan meningkat seiring dengan bertambahnya tinggi gelombang dan juga berkurangnya muatan hidrokarbon di dalam struktur SSP. Grafik-grafik korelasi antara *safety factor* dan tinggi gelombang signifikan dapat dilihat pada Gambar 4.114.



(a)



(b)



**Gambar 71.** *Tension hawser* pada skenario *tandem offloading* kondisi 1 (a), kondisi 2 (b), kondisi 3 (c), kondisi 4 (d), kondisi 5 (e), dan kondisi 6 (f)



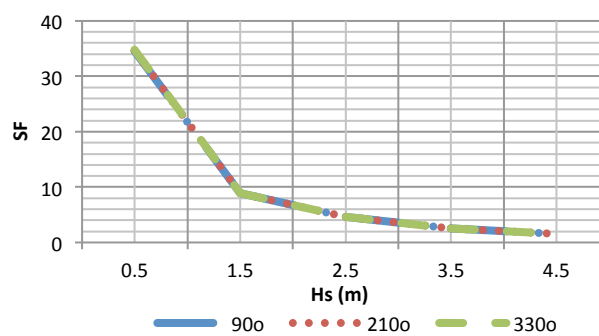
Tahap selanjutnya setelah melakukan analisis pada *tension mooring line* maupun *hawser*, maka harus dilakukan pengecekan terhadap *safety factor*. Rangkuman kondisi kritis berdasarkan nilai *safety factor* pada *Hawser* dapat dilihat pada Tabel 4.52. Nilai *safety factor* yang harus dipenuhi agar operasi dikatakan aman pada *mooring* untuk kondisi *intact* adalah  $> 1.67$ . Lebih lanjut, korelasi antara *safety factor hawser* dengan tinggi gelombang signifikan dapat dilihat pada Gambar 4.115.

**Tabel 4.52** Rangkuman kondisi kritis berdasarkan nilai *safety factor* pada *hawser*

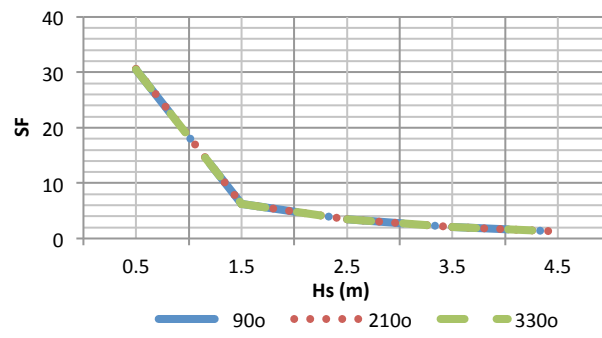
Kondisi 1 (SSP Full Load -ST ballast konfigurasi Catenary)			
	90°	210°	330°
0.5	34.51	34.69	34.76
1.5	8.87	8.88	8.89
2.5	4.66	4.66	4.66
3.5	2.51	2.51	2.51
4.5	1.55	1.55	1.55
Kondisi 2 (SSP Ballast load -ST Half Load konfigurasi Catenary)			
	90°	210°	330°
0.5	30.46	30.6	30.54
1.5	6.22	6.22	6.22
2.5	3.43	3.43	3.43
3.5	2.11	2.11	2.11
4.5	1.21	1.21	1.21
Kondisi 3 (SSP Ballast load -ST Full Load konfigurasi Catenary)			
	90°	210°	330°
0.5	28.34	28.46	28.47
1.5	4.95	4.95	4.95
2.5	2.82	2.82	2.82
3.5	1.56	1.56	1.56
4.5	0.84	0.84	1.56

**Tabel 4.52** Rangkuman kondisi kritis berdasarkan nilai *safety factor* pada *hawser* (lanjutan)

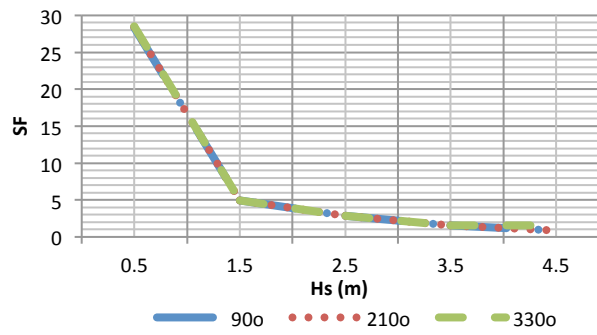
Kondisi 4 (SSP <i>Full Load</i> -ST <i>ballast</i> konfigurasi <i>Taut</i> )			
	90°	210°	330°
0.5	34.79	34.97	35.04
1.5	8.89	8.9	8.9
2.5	4.66	4.67	4.67
3.5	2.52	2.52	2.52
4.5	1.55	1.21	1.56
Kondisi 5 (SSP <i>Ballast load</i> -ST <i>Half Load</i> konfigurasi <i>Taut</i> )			
	90°	210°	330°
0.5	30.67	30.81	30.76
1.5	6.23	6.23	6.23
2.5	3.43	3.44	3.43
3.5	2.11	2.11	2.11
4.5	1.21	1.21	1.21
Kondisi 6 (SSP <i>Ballast load</i> -ST <i>Full Load</i> konfigurasi <i>Taut</i> )			
	90°	210°	330°
0.5	28.61	28.65	28.69
1.5	4.96	4.96	4.96
2.5	2.82	2.82	2.82
3.5	1.56	1.56	1.56
4.5	0.84	0.84	0.84



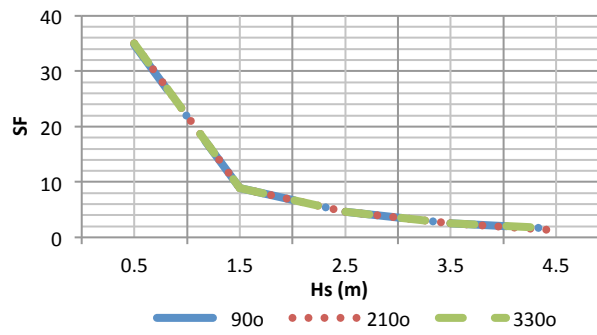
(a)



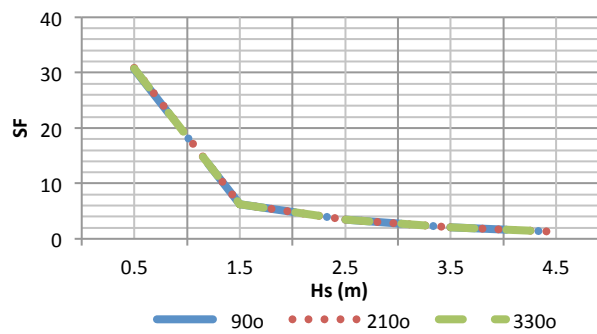
(b)



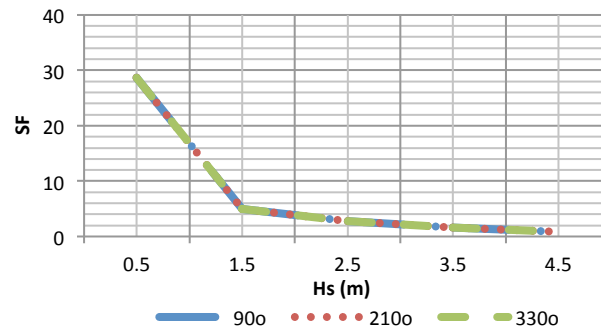
(c)



(d)



(e)



(f)

**Gambar 72** Grafik hubungan *safety factor* dengan tinggi gelombang signifikan pada kondisi 1 (a), kondisi 2 (b), kondisi 3 (c), kondisi 4 (d), kondisi 5 (e), dan kondisi 6 (f)

Berdasarkan grafik di atas, dapat diketahui bahwa *safety factor* akan mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya tinggi gelombang signifikan. *Safety factor hawser* yang bernilai di bawah batas aman menurut API RP2SK ( $<2$ ), berada pada kondisi 1 yaitu senilai 1.55, kondisi 2 senilai 1.21, kondisi 3 berturut-turut senilai 1.56 dan 0.84 pada tinggi gelombang signifikan 3.5 dan 4.5, kondisi 4 senilai 1.56, kondisi 5 senilai 1.21, kondisi 6 berturut-turut senilai 1.56 dan 0.84 pada tinggi gelombang signifikan 3.5 m dan 4.5 m.

#### 4.8 ANALISA OPERABILITAS DI PERAIRAN MASELA

Nilai operabilitas dalam penelitian ini terbagi menjadi dua yakni kemampuan SSP beroperasi secara tunggal dan kemampuan SSP melakukan aktivitas *tandem offloading* dengan *Shuttle Tanker*. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, SSP yang beroperasi dengan ketinggian gelombang signifikan 0.5 m hingga 4.5 m (sesuai dengan scatter perairan Masela) memiliki *safety factor* di atas syarat batas yang ditetapkan ( $>1.67$  menurut API RP2SK). Sedangkan analisis pada operabilitas saat pengoperasian *tandem offloading* mengarah kepada kemampuan SSP melakukan aktivitas *offloading* dengan *Shuttle Tanker*, dimana operabilitas diasumsikan hanya dipengaruhi oleh faktor cuaca yaitu lingkungan di lokasi setempat. Dua aspek yang ditinjau yaitu posisi kedua struktur, yaitu mengalami tabrakan atau tidak, dan juga kemampuan tali tambat *mooring line* maupun *hawser* dalam menahan posisi kedua kapal agar tidak terjadi tabrakan.

Pada Tabel 4.53 diberikan rangkuman operabilitas berdasarkan respon gerak dan *tension*, dan pada Tabel 4.54 diberikan Korelasi kondisi batas dengan data sebaran gelombang Blok Masela.

**Tabel 4.53** Rangkuman operabilitas berdasarkan respon gerak dan *tension*

Kondisi	Heading (°)	Hs (m)	Respon Gerak	<i>tension</i>	Hasil akhir
1	90	0.5	Operable	Operable	Operable
1	90	1.5	Operable	Operable	Operable
1	90	2.5	Operable	Operable	Operable
1	90	3.5	Operable	Operable	Operable
1	90	4.5	Operable	Shut down	Shut down
1	210	0.5	Operable	Operable	Operable
1	210	1.5	Operable	Operable	Operable
1	210	2.5	Operable	Operable	Operable
1	210	3.5	Operable	Operable	Operable
1	210	4.5	Operable	Shut down	Shut down
1	330	0.5	Operable	Operable	Operable
1	330	1.5	Operable	Operable	Operable
1	330	2.5	Operable	Operable	Operable
1	330	3.5	Operable	Operable	Operable
1	330	4.5	Operable	Shut down	Shut down
2	90	0.5	Operable	Operable	Operable
2	90	1.5	Operable	Operable	Operable
2	90	2.5	Operable	Operable	Operable
2	90	3.5	Operable	Operable	Operable
2	90	4.5	Operable	Shut down	Shut down
2	210	0.5	Operable	Operable	Operable
2	210	1.5	Operable	Operable	Operable
2	210	2.5	Operable	Operable	Operable
2	210	3.5	Operable	Operable	Operable
2	210	4.5	Operable	Shut down	Shut down
2	330	0.5	Operable	Operable	Operable
2	330	1.5	Operable	Operable	Operable
2	330	2.5	Operable	Operable	Operable
2	330	3.5	Operable	Operable	Operable
2	330	4.5	Operable	Shut down	Shut down
3	90	0.5	Operable	Operable	Operable
3	90	1.5	Operable	Operable	Operable

**Tabel 4.53** Rangkuman operabilitas berdasarkan respon gerak dan *tension* (lanjutan)

Kondisi	Heading (°)	Hs (m)	Respon Gerak	<i>tension</i>	Hasil akhir
3	90	2.5	Operable	Operable	Operable
3	90	3.5	Operable	Shut down	Shut down
3	90	4.5	Operable	Shut down	Shut down
3	210	0.5	Operable	Operable	Operable
3	210	1.5	Operable	Operable	Operable
3	210	2.5	Operable	Operable	Operable
3	210	3.5	Operable	Shut down	Shut down
3	210	4.5	Operable	Shut down	Shut down
3	330	0.5	Operable	Operable	Operable
3	330	1.5	Operable	Operable	Operable
3	330	2.5	Operable	Operable	Operable
3	330	3.5	Operable	Shut down	Shut down
3	330	4.5	Operable	Shut down	Shut down
4	90	0.5	Operable	Operable	Operable
4	90	1.5	Operable	Operable	Operable
4	90	2.5	Operable	Operable	Operable
4	90	3.5	Operable	Operable	Operable
4	90	4.5	Operable	Operable	Operable
4	210	0.5	Operable	Operable	Operable
4	210	1.5	Operable	Operable	Operable
4	210	2.5	Operable	Operable	Operable
4	210	3.5	Operable	Operable	Operable
4	210	4.5	Operable	Shut down	Shut down
4	330	0.5	Operable	Operable	Operable
4	330	1.5	Operable	Operable	Operable
4	330	2.5	Operable	Operable	Operable
4	330	3.5	Operable	Operable	Operable
4	330	4.5	Operable	Shut down	Shut down
5	90	0.5	Operable	Operable	Operable
5	90	1.5	Operable	Operable	Operable
5	90	2.5	Operable	Operable	Operable
5	90	3.5	Operable	Operable	Operable
5	90	4.5	Operable	Shut down	Shut down
5	210	0.5	Operable	Operable	Operable
5	210	1.5	Operable	Operable	Operable
5	210	2.5	Operable	Operable	Operable
5	210	3.5	Operable	Operable	Operable
5	210	4.5	Operable	Shut down	Shut down

**Tabel 4.53** Rangkuman operabilitas berdasarkan respon gerak dan *tension* (lanjutan)

Kondisi	Heading (°)	Hs (m)	Respon Gerak	<i>tension</i>	Hasil akhir
5	330	0.5	Operable	Operable	Operable
5	330	1.5	Operable	Operable	Operable
5	330	2.5	Operable	Operable	Operable
5	330	3.5	Operable	Operable	Operable
5	330	4.5	Operable	Shut down	Shut down
6	90	0.5	Operable	Operable	Operable
6	90	1.5	Operable	Operable	Operable
6	90	2.5	Operable	Operable	Operable
6	90	3.5	Operable	Shut down	Shut down
6	90	4.5	Operable	Shut down	Shut down
6	210	0.5	Operable	Operable	Operable
6	210	1.5	Operable	Operable	Operable
6	210	2.5	Operable	Operable	Operable
6	210	3.5	Operable	Shut down	Shut down
6	210	4.5	Operable	Shut down	Shut down
6	330	0.5	Operable	Operable	Operable
6	330	1.5	Operable	Operable	Operable
6	330	2.5	Operable	Operable	Operable
6	330	3.5	Operable	Shut down	Shut down
6	330	4.5	Operable	Shut down	Shut down

**Tabel 4.54** Korelasi kondisi batas dengan data sebaran gelombang Blok Masela

		Hs (m)					Total
		0.1-1	1.1-2	2.1-3	3.1-4	4.1-5	
Tp (s)	0.1 - 2	0	0	0	0	0	0
	2.1-4	0.58	0	0	0	0	0.58
	4.1-6	9.51	4.43	0	0	0	13.94
	6.1-8	5.12	6.9	4.74	0.03	0	16.79
	8.1-10	8.2	3.5	5.6	0.78	0.04	18.12
	10.1-12	10.8	20.8	0.15	0.01	0.01	31.77
	12.1-14	9.3	2.68	0.02	0	0	12
	14.1-16	2.93	2.46	0.04	0	0	5.43
	16.1-18	0.42	0.77	0.03	0	0	1.22
	18.1-20	0.05	0.096	0	0	0	0.146
Total		46.91	41.436	10.58	0.82	0.05	100
kumulatif		46.9	88.5	99.1	99.9	100	

Dari data di atas dapat disimpulkan bahwa konfigurasi *Taut* dan *Catenary* sama-sama dapat beroperasi secara aman hingga ketinggian 2.5 m di perairan Masela. Tanda berwarna merah menunjukkan kondisi sudah melampaui syarat batas sehingga tidak mungkin lagi dilakukan operasi *offloading tandem*. Berdasarkan persamaan operabilitas yang sudah dijelaskan pada persamaan 2.25, bahwa rumus operabilitas adalah sebagai berikut

$$\text{operabilitas} = \left( \frac{Na}{Na+Nd} \right) \times 100\% \quad 2.25$$

Berdasarkan penelitian tugas akhir ini, didapat bahwa jumlah kejadian di bawah syarat batas dan di atas syarat batas berturut – turut adalah 63 dan 23, oleh karena itu,

$$\begin{aligned} \text{operabilitas} &= \left( \frac{63}{63+23} \right) \times 100\% \\ &= 73.3\% \end{aligned}$$

nilai operabilitas SSP dalam melakukan *tandem offloading* dengan *Shuttle Tanker* berkapasitas 160.000 DWT adalah 73.3%



## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 SIMPULAN

Dari hasil analisis yang telah dilakukan terhadap interaksi hidrodinamis SSP dengan *Shuttle Tanker*, maka dapat disimpulkan bahwa;

- Strukur akan memiliki respon gerak yang akan meningkat seiring dengan bertambahnya tinggi gelombang signifikan
- Pada kondisi tertambat dan beroperasi tunggal, arah pembebanan 90 derajat memberi respon gerak terbesar pada *sway* dan *roll*. Arah pembebanan 210° dan 330° memberikan respon gerak yang hampir sama pada struktur. *Tension* yang terjadi pada *mooring line* dengan konfigurasi sistem tambat *Catenary* berada pada rentang nilai 1200 kN hingga 1800 kN pada SSP bermuatan *Full Load*, dan 1500 kN hingga 2200 kN pada SSP bermuatan *ballast*. Sedangkan untuk konfigurasi *Taut*, SSP bermuatan *Full Load* memiliki *tension* pada *mooring line* seharga 4300 kN hingga 7000 kN, dan 4700 kN hingga 7500 kN sewaktu SSP bermuatan *ballast*.
- Pada kondisi *offloading*, *tension* yang terjadi pada *mooring line* dengan konfigurasi *mooring Catenary* dengan muatan SSP *Full Load* dan ST *ballast* adalah sebesar 1700 kN hingga 2300 kN, sedangkan pada SSP bermuatan *Ballast load* dengan ST bermuatan *Half Load* memiliki *tension* pada *mooring line* dengan kisaran 2000 kN hingga 2500 kN, lalu pada SSP yang memiliki muatan *Ballast load* dan ST *Full Load*, memiliki *tension* pada *mooring line* sebesar 2100 kN hingga 2600 kN. Pada konfigurasi *Taut*, muatan SSP *Full Load* dan ST *ballast* memiliki *tension* pada *mooring line* sebesar 6000 kN hingga 6600 kN, pada SSP bermuatan *ballast* dan ST *Half Load* memiliki *tension* pada *mooring line* sebesar 6300 kN hingga 6900 kN, dan terakhir, SSP bermuatan *ballast* dan ST bermuatan *Full Load* memiliki *tension* pada *mooring line* sebesar 6400 kN hingga 6900 kN.

- Berdasarkan hasil percobaan, kemungkinan tubrukan SSP dengan *Shuttle Tanker* saat melakukan aktivitas *offloading tandem* hidrokarbon sangatlah kecil, namun kemungkinan putusanya *mooring line* dan tali tambat masih dapat terjadi. Tali tambat atau *hawser* memiliki kemungkinan putus saat struktur melakukan aktivitas *offloading* di atas ketinggian Hs 2.5 m, baik secara *Catenary* maupun *Taut*.
- Analisis operabilitas yang dilakukan terhadap SSP di perairan blok masela terdiri dari dua bagian, yaitu analisis operabilitas ketika SSP beroperasi tunggal tanpa adanya aktivitas *offloading* dan ketika SSP melakukan *tandem offloading* dengan *Shuttle Tanker* berkapasitas 160.000 DWT, yang diasumsikan operabilitas dalam penelitian kali ini hanya dipengaruhi oleh faktor lingkungan daerah lokasi. Analisis operabilitas pada saat SSP beroperasi tunggal memiliki nilai 100%, sedangkan analisis operabilitas dari *tandem offloading* menghasilkan nilai 73.3% dengan batasan bahwa operabilitas *tandem offloading* antara SSP dan *Shuttle Tanker* berkapasitas 160.000 DWT hanya bisa dilakukan sampai pada tinggi gelombang signifikan 2.5 m baik struktur yang menggunakan konfigurasi *Catenary* maupun *Taut*.

## 5.2 SARAN

Beberapa aspek dapat dijadikan objek penelitian lebih lanjut berdasarkan penelitian pada tugas akhir ini maupun penelitian-penelitian sebelumnya, seperti

- Analisis SSP mengikutsertakan pengaruh riser
- Analisa operabilitas dengan mengikutsertakan variasi jarak
- Analisa pengaruh arah datang *Shuttle Tanker* (*inline and between*)

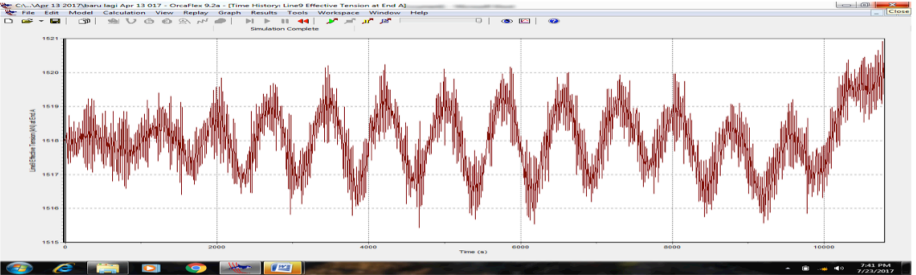
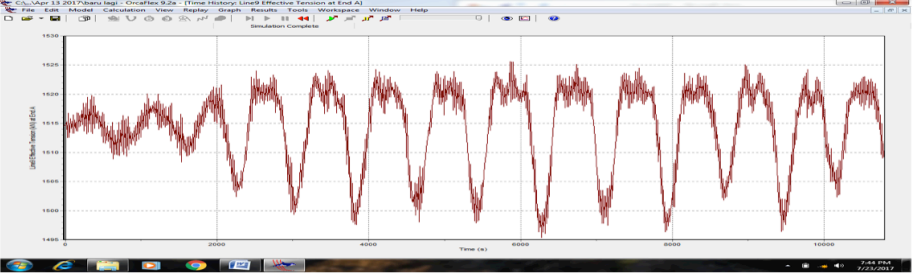
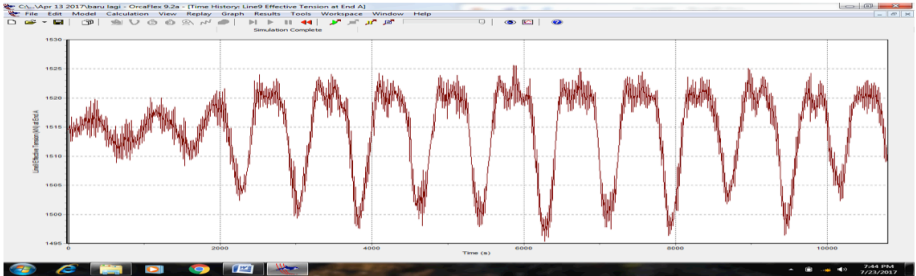
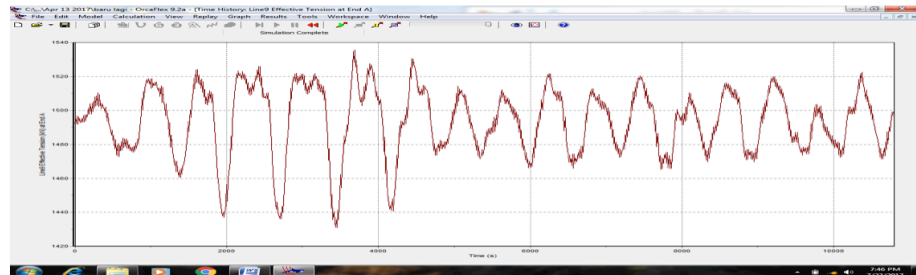
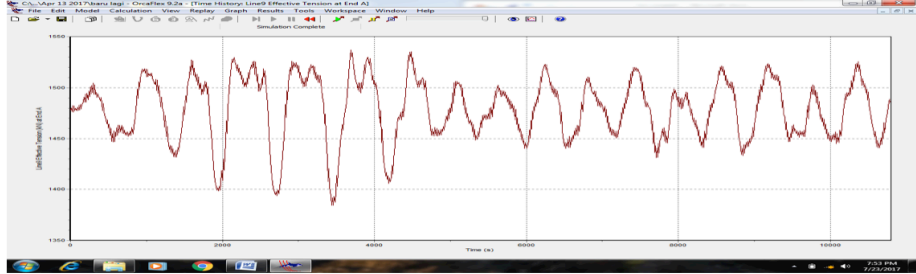
## DAFTAR PUSTAKA

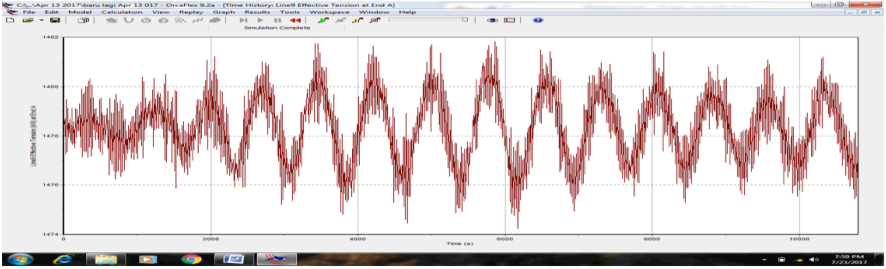
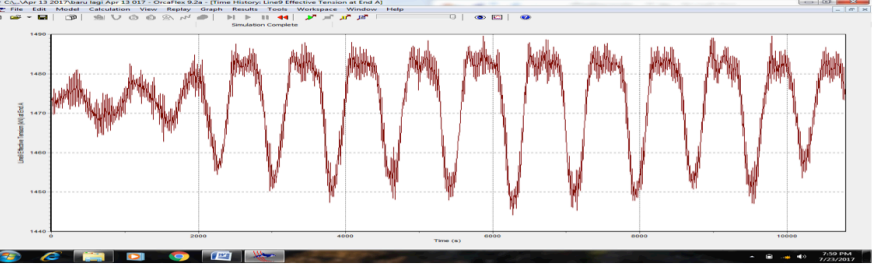
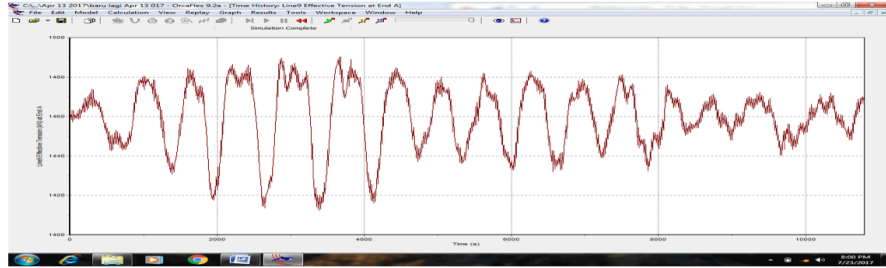
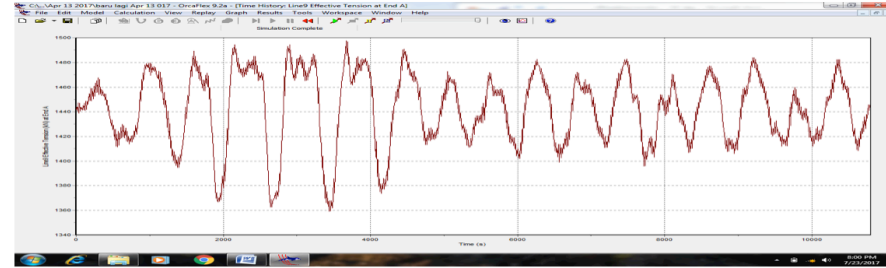
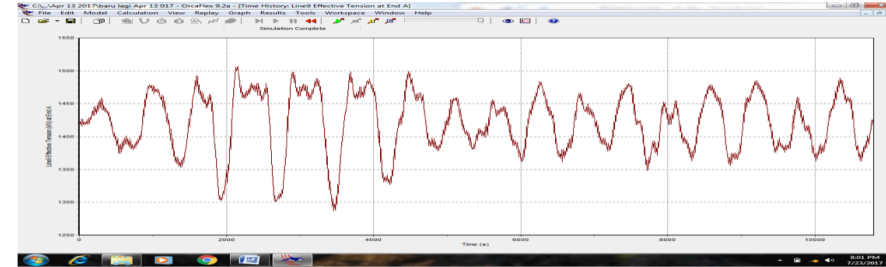
- ABS MODU. 2012. *Rules for Building and Classing*. American Bureau of Shipping.
- Afriana, R. 2011. *Coupled Dynamic Analysis of Cylindrical FPSO, Moorings, and Riser Based on Numerical Simulation*. Master Thesis of Department of Offshore Technology, Faculty of Science and Technology. Stavanger : University of Stavanger.
- Aghnia, M. Z. 2013. *Analisis Operabilitas FSRU akibat Beban Lingkungan Berbasis Ranah Waktu*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- API RP 2SK 3rd edition. 2005. *Design and Analysis of Stationkeeping Systems for Floating Structures*. American Petroleum Institute.
- Barras, C. B. 2004. *Ship Design and Performance for Masters and Mates*. Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Bhattacharyya, R. 1972. *Dynamics of Marine Vehicles*. New York : John Wileys and Sons.
- Bungawardani. 2007. *Analisis Perilaku Dinamis FPSO dengan Sistem External Turret Mooring*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Chakrabarti, S. K. 1987. *Hydrodynamics of Offshore Structure*. Boston : Computational Mechanics Publication Southampton.
- Djarmiko, E B. 2012. *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*. Surabaya : ITS Press. 117
- DNV OS E301. 2004. *Position Mooring*. Det Norske Veritas. Faltinsen, O. M. 1990. *Sea Loads on Ships and Offshore Structure*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Fugro. 2012. *Abadi Gas Field Development Metocean Criteria for Masela Field*.
- Journée, J. M. J., et al. 2001. *Offshore Hydromechanics*. Delft : Delft University of Technology.
- Koo, B. J. dan M. H. Kim. 2006. *Global Analysis of FPSO and Shuttle Tankers during Side by Side Offloading*. Minerals Management Service under the

- MMS/OTRC Cooperative Research Agreement, 1435-01-99-CA 31003, Task Order 73604, MMS Project Number and OTC Industry Consortium. Texas.
- Mahdarreza A. 2010. *Analisis Perilaku Floating LNG pada Variasi Metocean terhadap Externeal Turret Mooring System berbasis Simulasi Time Domain*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- OCIMF. 1994. *Prediction of Wind and Current Loads on VLCCs, 2nd Edition*. Oil Companies International Marine Forum.
- OCIMF. 1997. *Mooring Equipment Guidelines 2nd Edition*. Oil Companies International Marine Forum.
- Perwitasari, R. N. 2010. *Hydrodynamics Interaction and Mooring Analysis for Offloading between FPSO and LNG Shuttle Tanker*. Master Thesis of Department of Marine Technology. Trondheim : Norwegian University of Science and Technology.
- Sevan Marine. 2011. *Western Isles Development Project (WIDP) FPSO - FEED Study - Mooring Analysis Report*. 54850-SMA-J-RA-0010.
- Syvvertsen, K. 2011. *The SSP : A New Class of Hull for the Oil Industry*. Trondheim.
- Tanker Shipping. 2014. *Tenacity Reflects a Determined Approach to Efficiency*. Tanker Shipping and Trade <[www.tankershipping.com](http://www.tankershipping.com)>
- Wibowo, Y. A. 2014. *Analisis Pengaruh Variasi Jarak Horizontal antara FSRU dan LNGC saat Side by Side Offloading Terhadap Perilaku Gerak Kapal dan Gaya Tarik Coupling Line*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

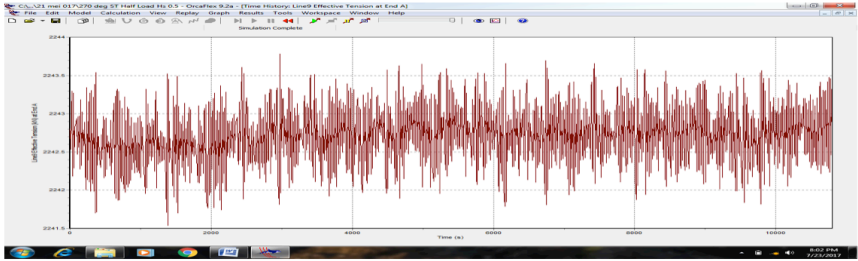
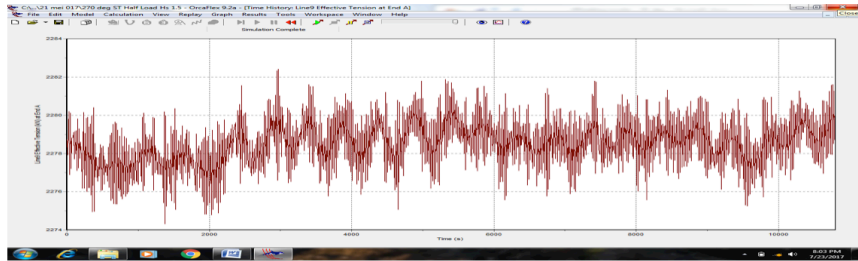
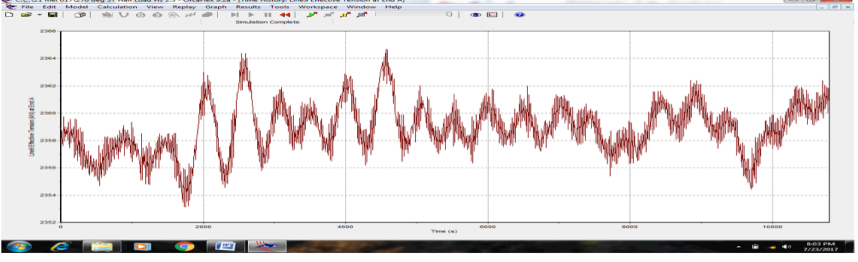
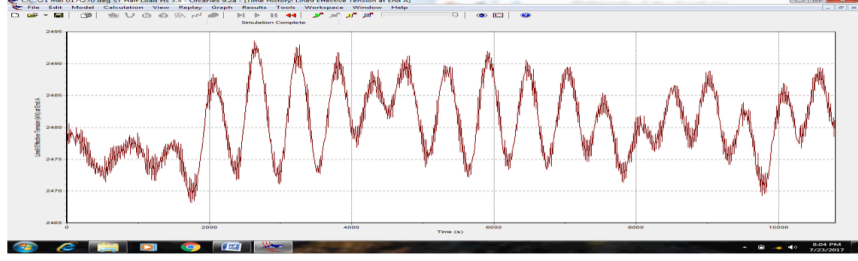
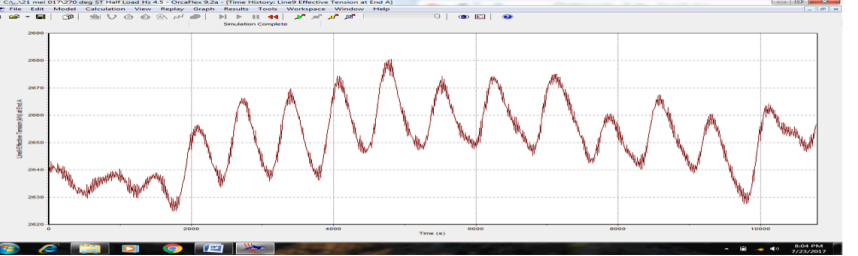
## LAMPIRAN A

Grafik time history tension mooring line 9 pada skenario tandem offloading kondisi 1		
	Arah pembebanan	Grafik
Kondisi 1 - Hs 0.5 m	90°	
Kondisi 1 - Hs 1.5 m		
Kondisi 1 - Hs 2.5 m		
Kondisi 1 - Hs 3.5 m		
Kondisi 1 - Hs 4.5 m		

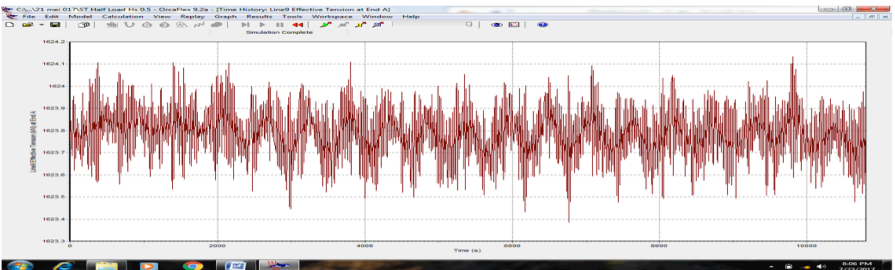
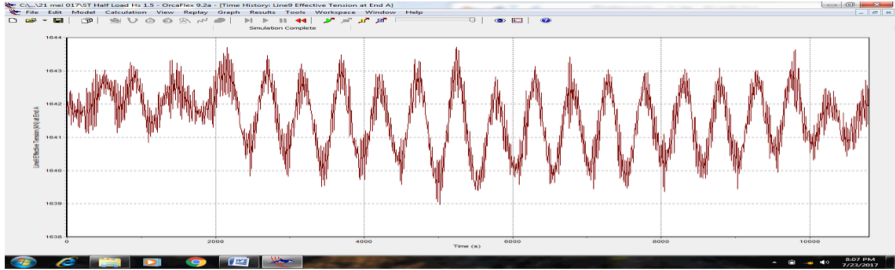
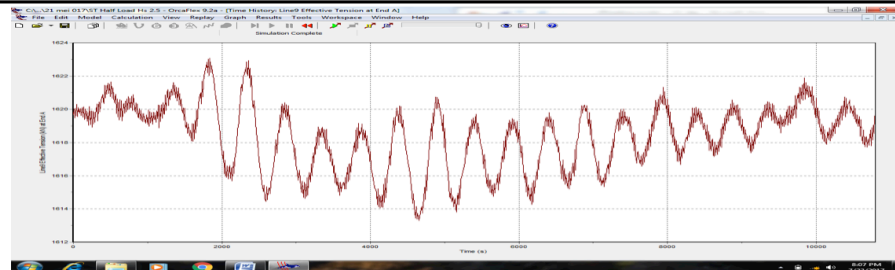
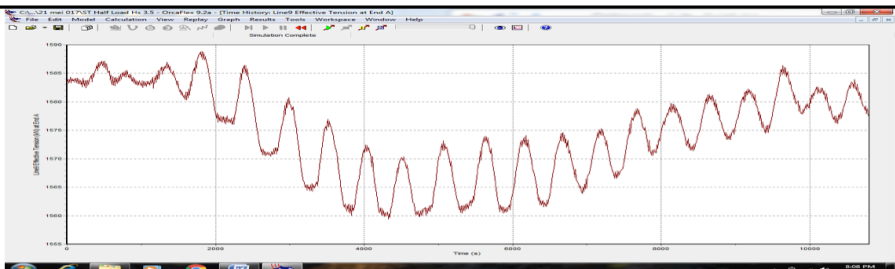

<p>Kondisi 1 - Hs 0.5 m</p>		
<p>Kondisi 1 - Hs 1.5 m</p>		
<p>Kondisi 1 - Hs 2.5 m</p>	<p>210°</p>	
<p>Kondisi 1 - Hs 3.5 m</p>		
<p>Kondisi 1 - Hs 4.5 m</p>		

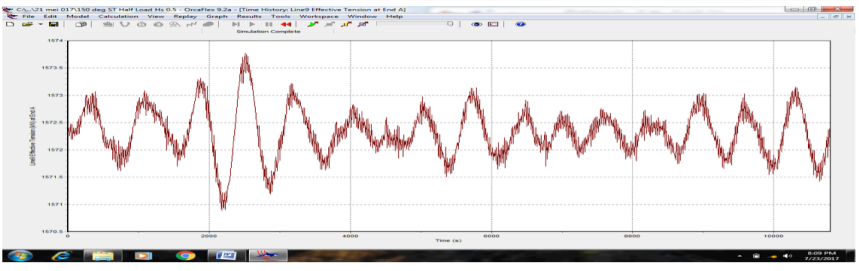
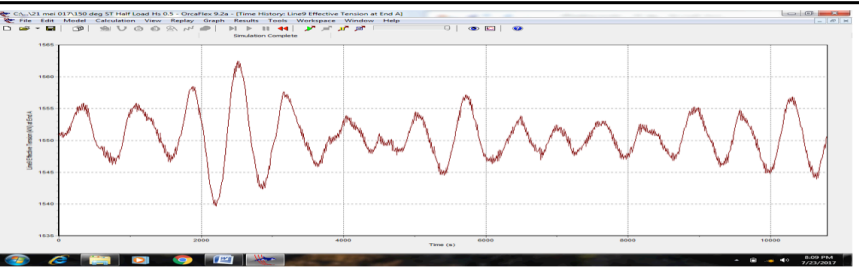
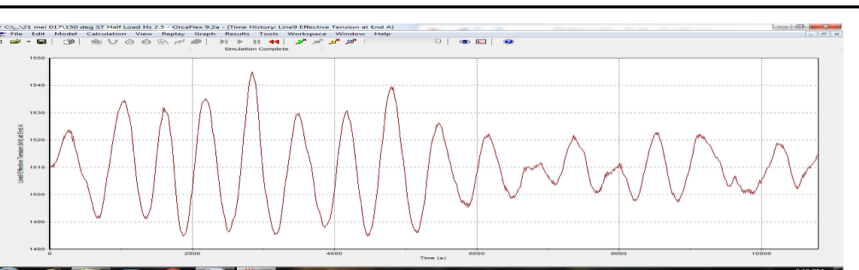
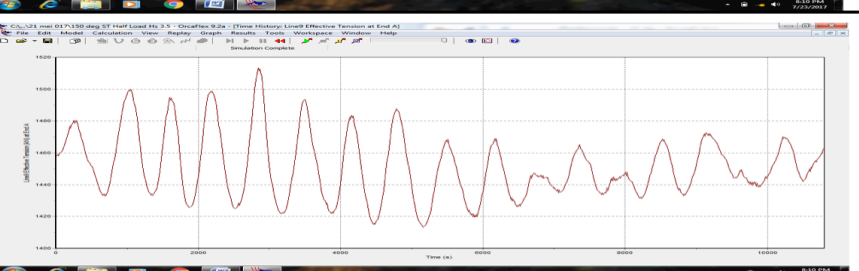
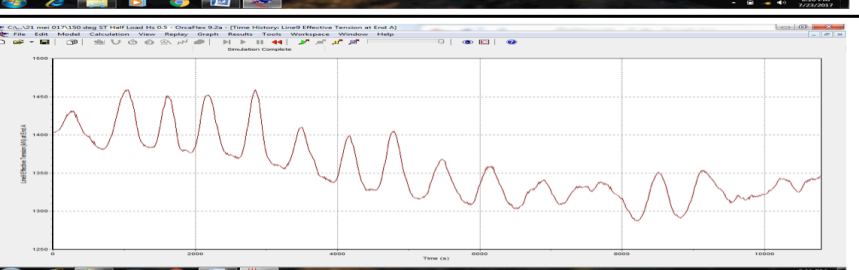
<p>Kondisi 1 - Hs 0.5 m</p>		
<p>Kondisi 1 - Hs 1.5 m</p>		
<p>Kondisi 1 - Hs 2.5 m</p>	<p>330°</p>	
<p>Kondisi 1 - Hs 3.5 m</p>		
<p>Kondisi 1 - Hs 4.5 m</p>		

## LAMPIRAN B

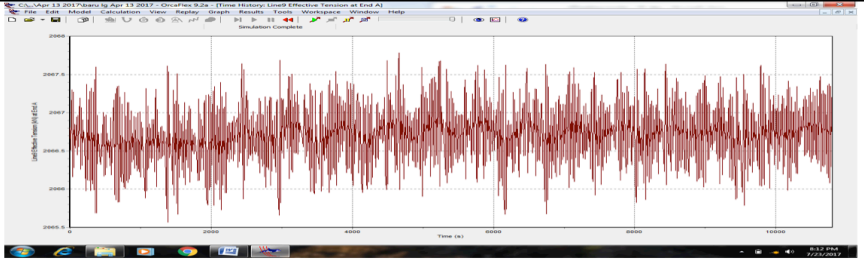
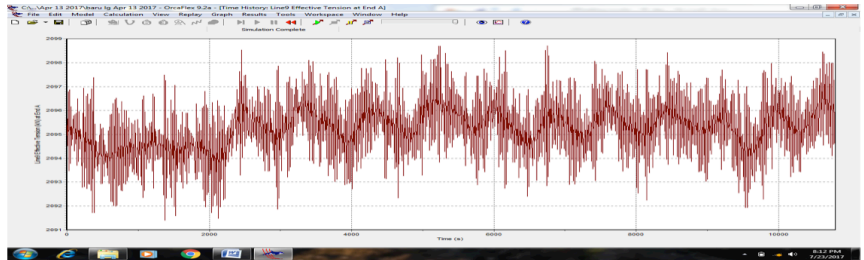
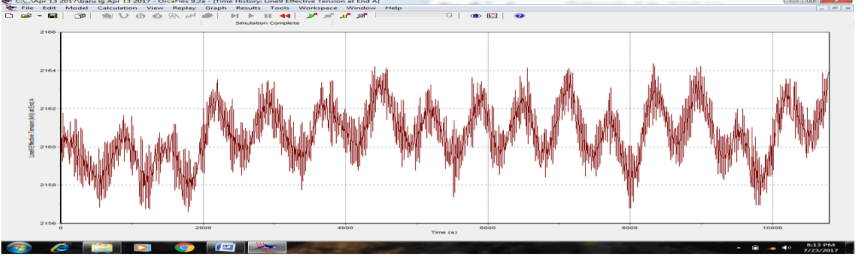
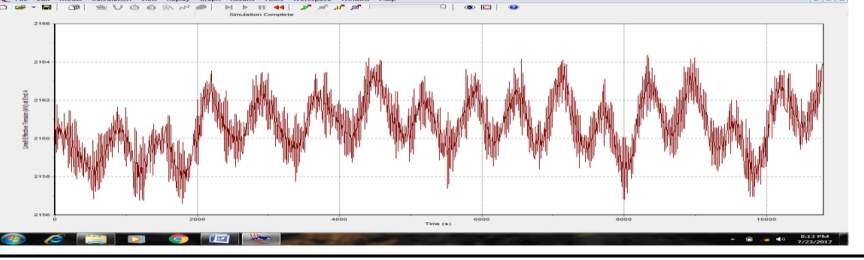
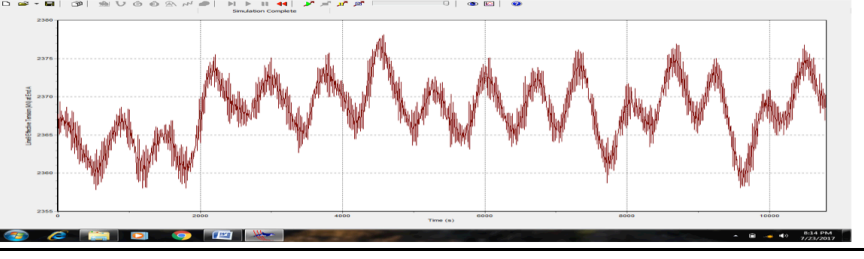
Grafik time history tension mooring line 9 pada skenario tandem offloading kondisi 2		
	Arah pembebanan	Grafik
Kondisi 2 - Hs 0.5 m	90°	
Kondisi 2 - Hs 1.5 m		
Kondisi 2 - Hs 2.5 m		
Kondisi 2 - Hs 3.5 m		
Kondisi 2 - Hs 4.5 m		

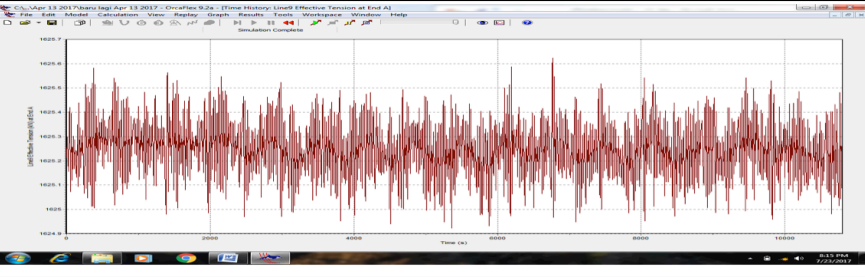
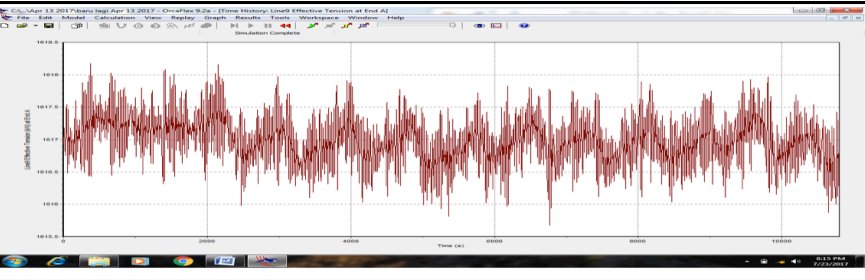
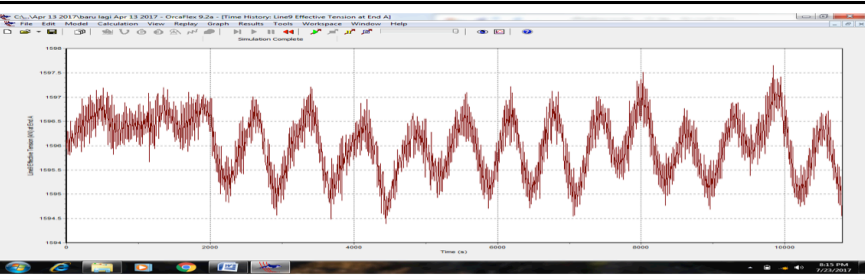
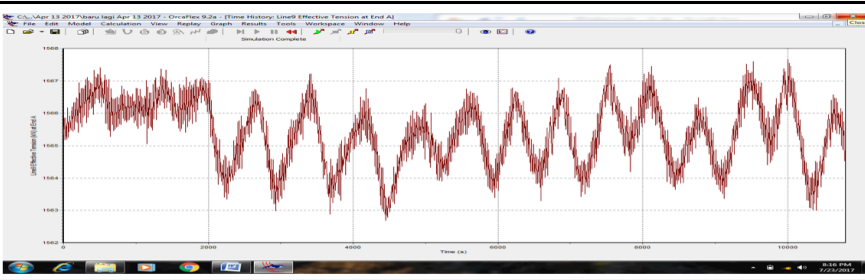
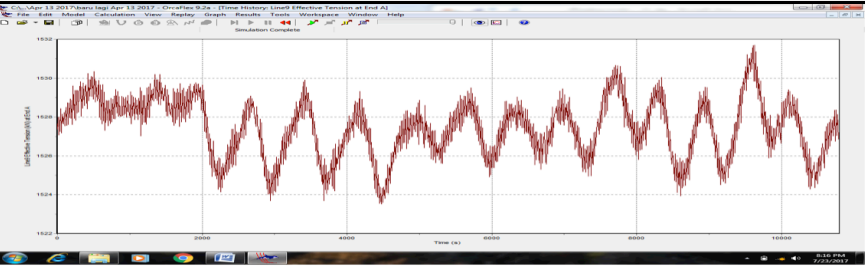


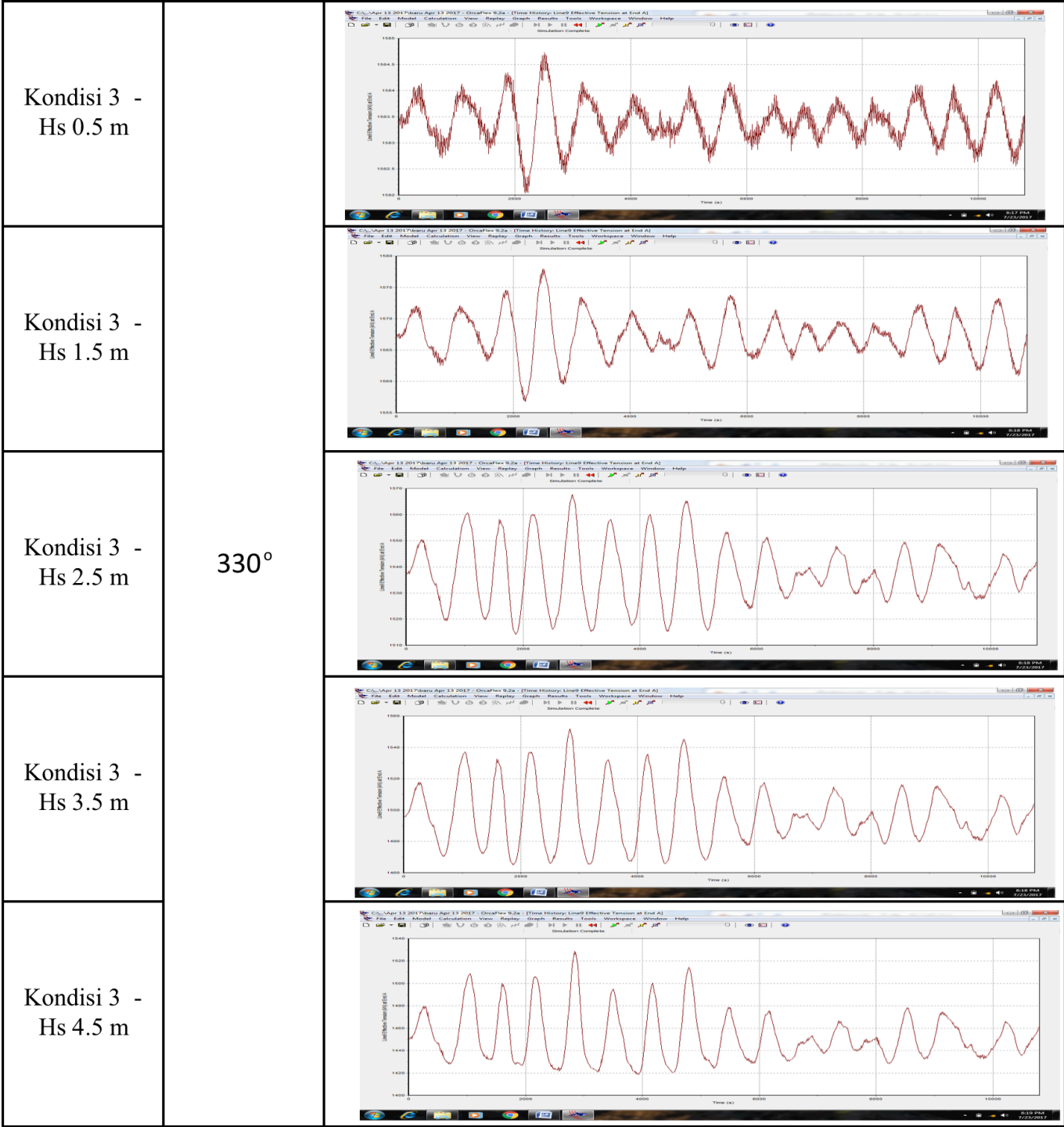
Kondisi 2 - Hs 0.5 m	210°	
Kondisi 2 - Hs 1.5 m		
Kondisi 2 - Hs 2.5 m		
Kondisi 2 - Hs 3.5 m		
Kondisi 2 - Hs 4.5 m		

Kondisi 2 - Hs 0.5 m	330°	
Kondisi 2 - Hs 1.5 m		
Kondisi 2 - Hs 2.5 m		
Kondisi 2 - Hs 3.5 m		
Kondisi 2 - Hs 4.5 m		

## LAMPIRAN C

Grafik time history tension mooring line 9 pada skenario tandem offloading kondisi 3		
	Arah pembebanan	Grafik
Kondisi 3 - Hs 0.5 m	90°	
Kondisi 3 - Hs 1.5 m		
Kondisi 3 - Hs 2.5 m		
Kondisi 3 - Hs 3.5 m		
Kondisi 3 - Hs 4.5 m		

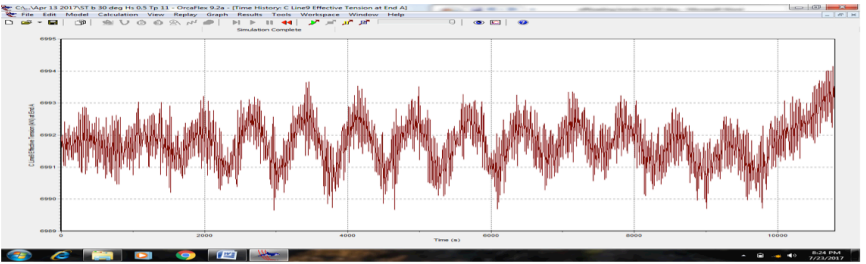
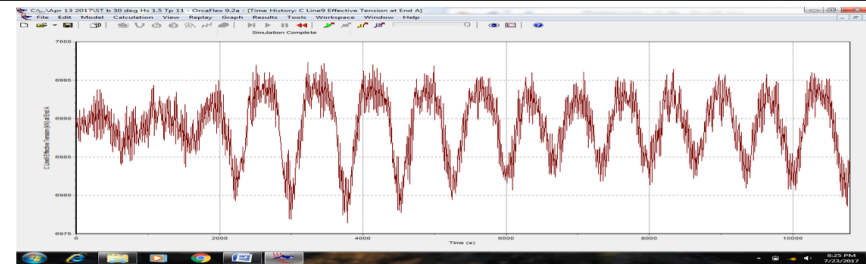
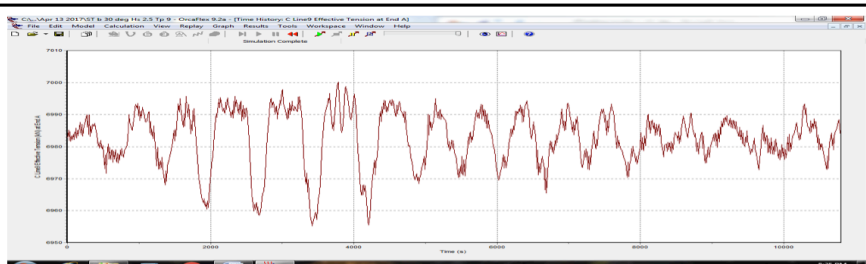
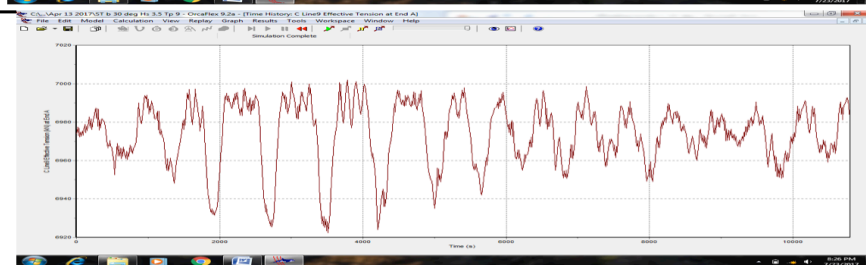
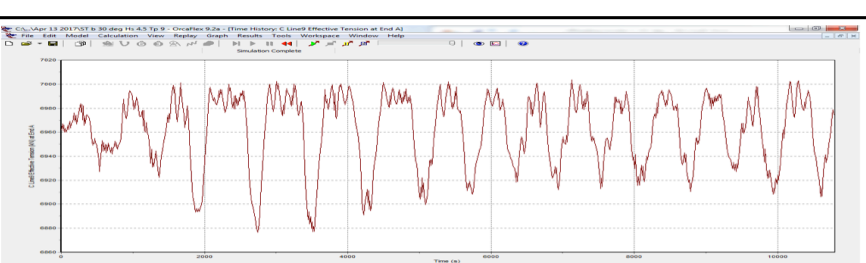
Kondisi 3 - Hs 0.5 m		
Kondisi 3 - Hs 1.5 m		
Kondisi 3 - Hs 2.5 m	210°	
Kondisi 3 - Hs 3.5 m		
Kondisi 3 - Hs 4.5 m		

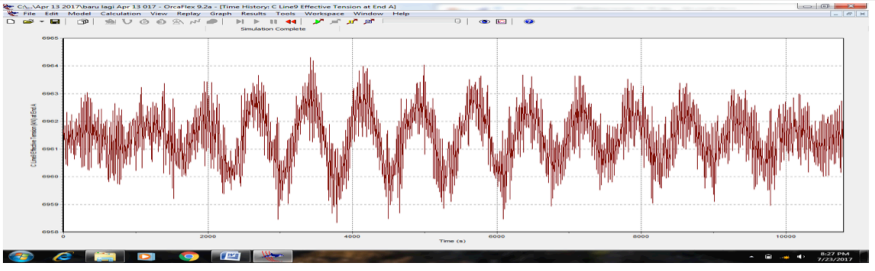
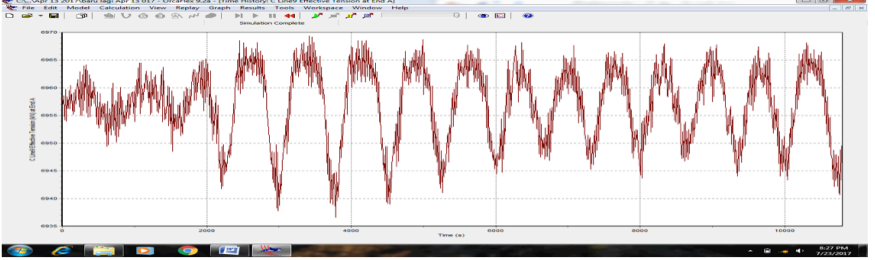
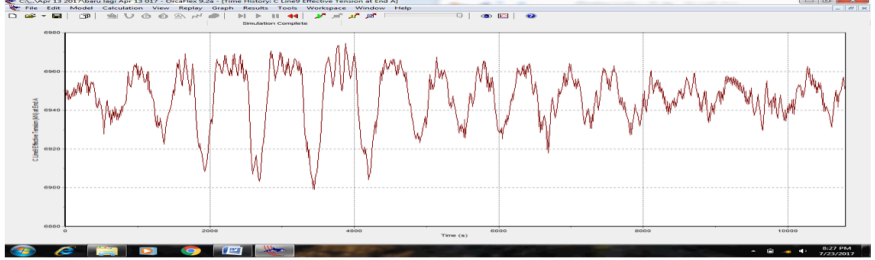

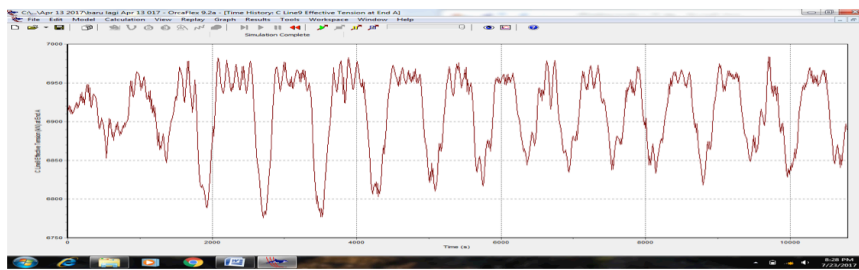


## LAMPIRAN D

Grafik time history tension mooring line 9 pada skenario tandem offloading kondisi 4		
	Arah pembebanan	Grafik
Kondisi 4 - Hs 0.5 m	90°	
Kondisi 4 - Hs 1.5 m		
Kondisi 4 - Hs 2.5 m		
Kondisi 4 - Hs 3.5 m		
Kondisi 3 - Hs 4.5 m		

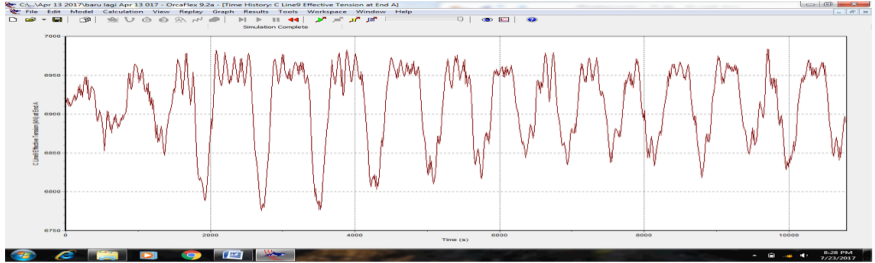
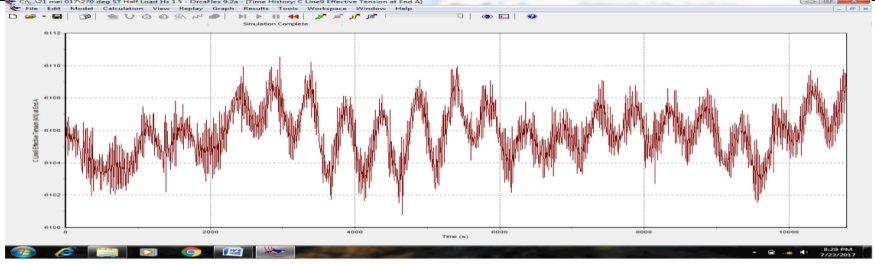
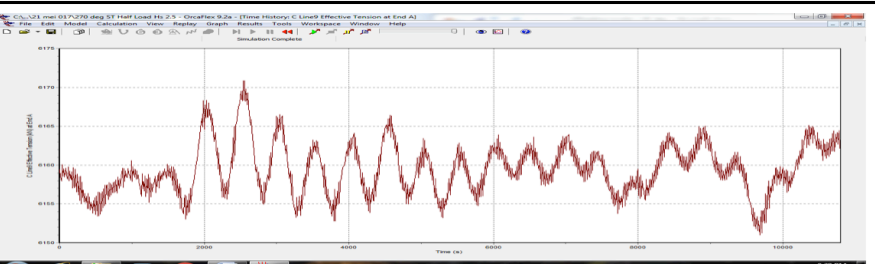
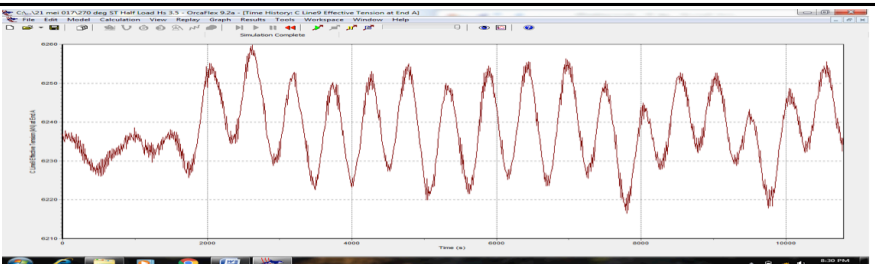
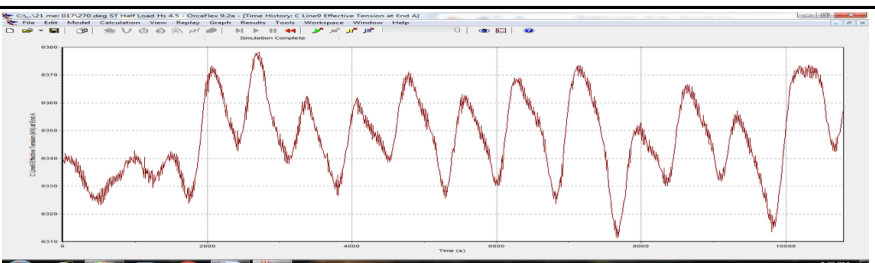


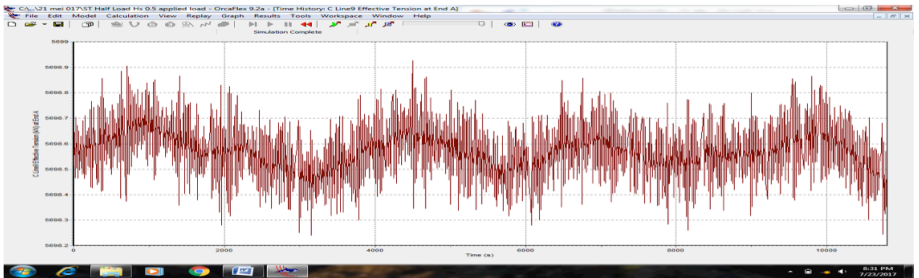
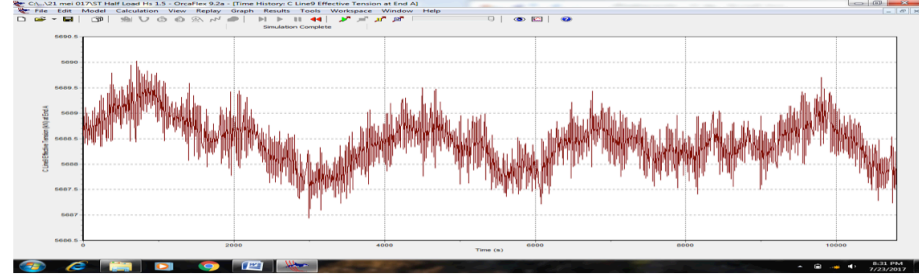
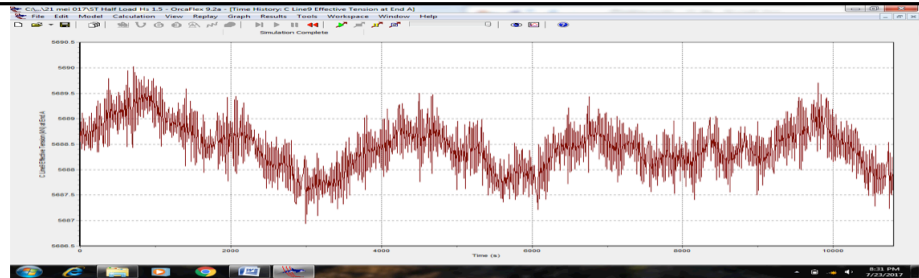
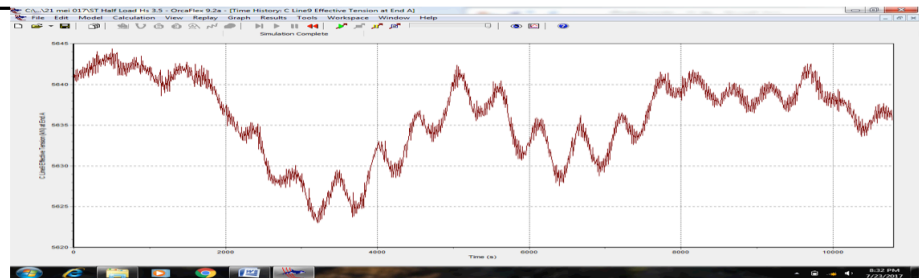
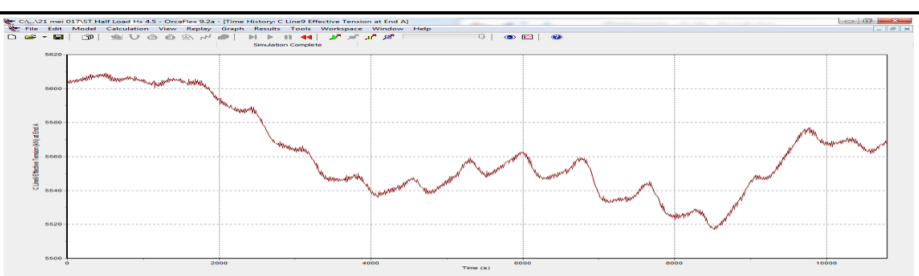
Kondisi 4 - Hs 0.5 m	210°	
Kondisi 4 - Hs 1.5 m		
Kondisi 4 - Hs 2.5 m		
Kondisi 4 - Hs 3.5 m		
Kondisi 4 - Hs 4.5 m		

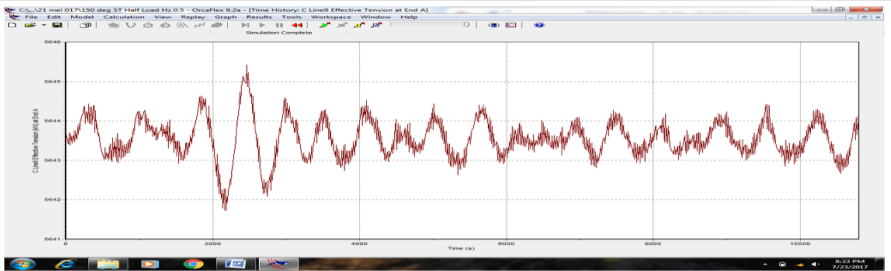
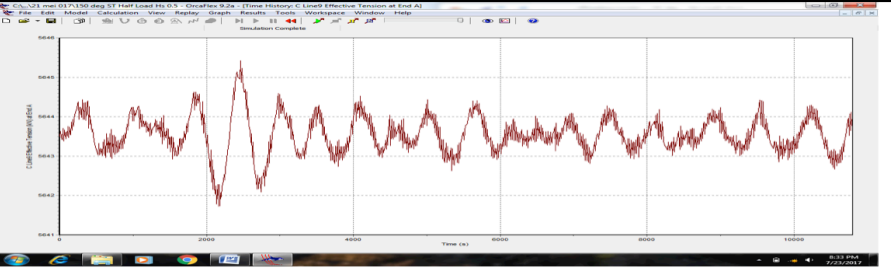
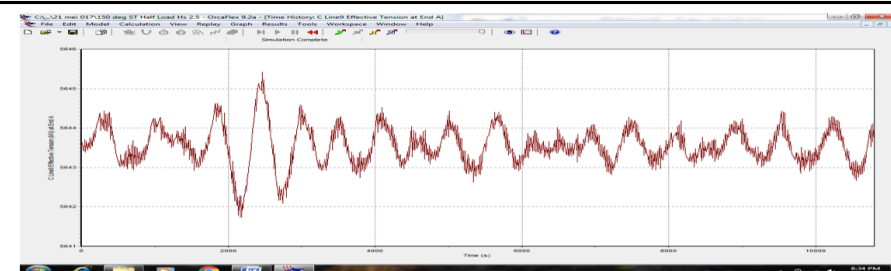
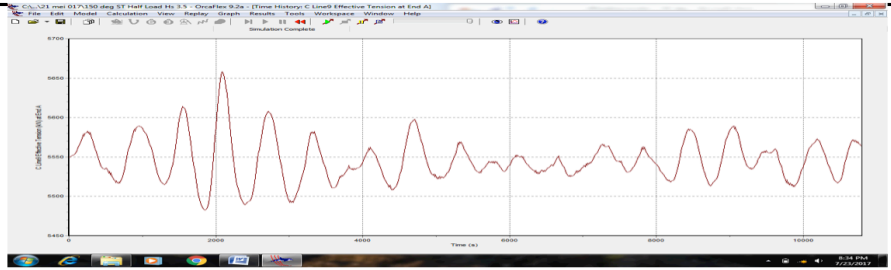
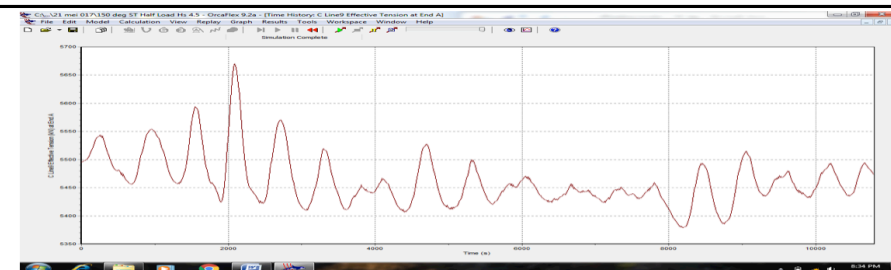
Kondisi 4 - Hs 0.5 m	330°	
Kondisi 4 - Hs 1.5 m		
Kondisi 4 - Hs 2.5 m		
Kondisi 4 - Hs 3.5 m		
Kondisi 4 - Hs 4.5 m		



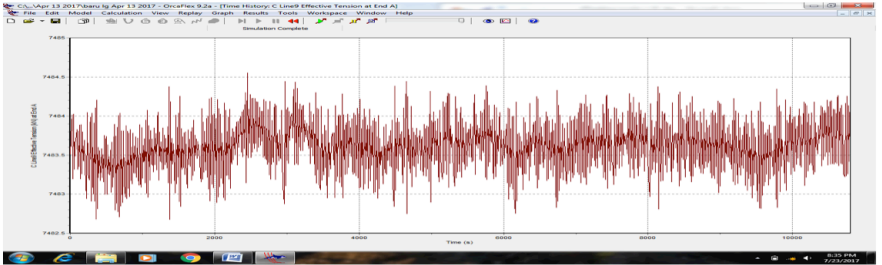
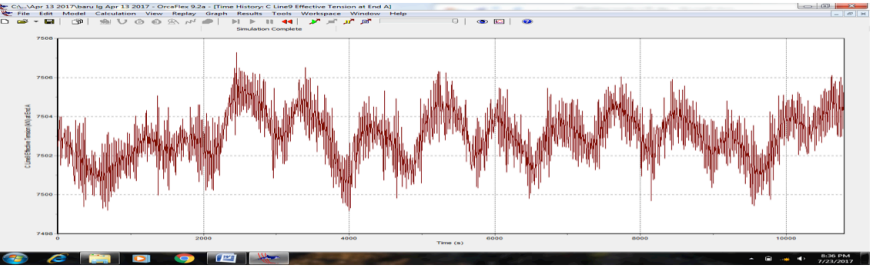
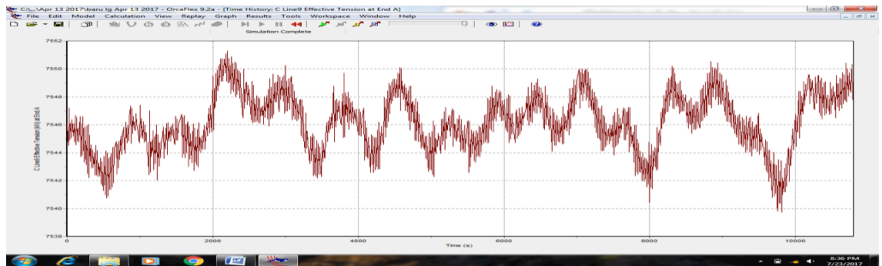
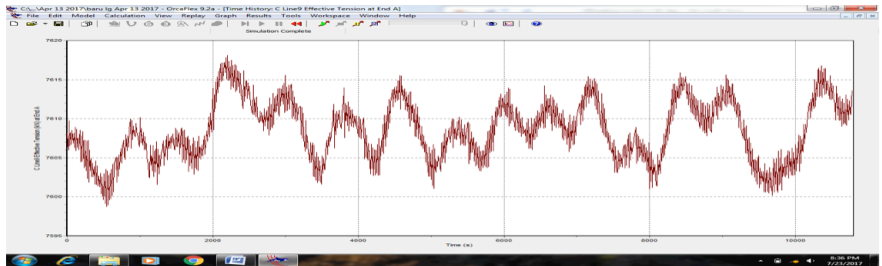
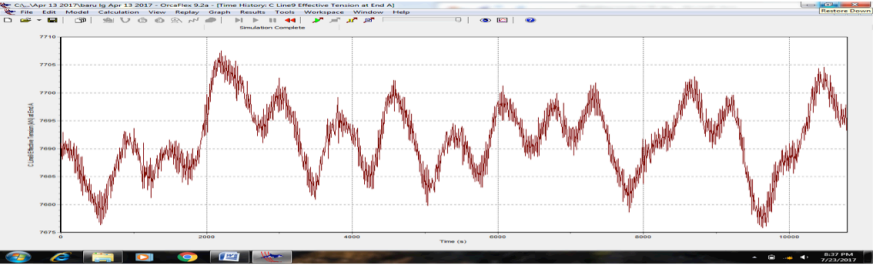
## LAMPIRAN E

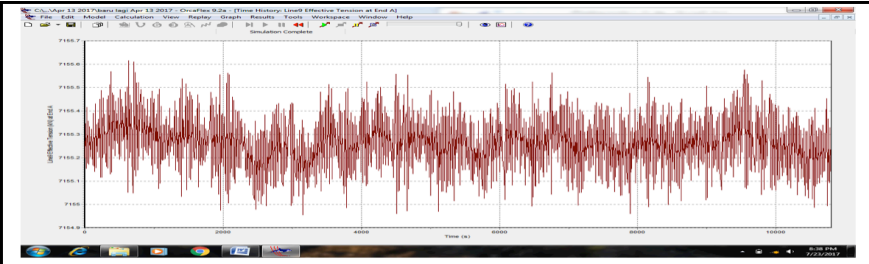
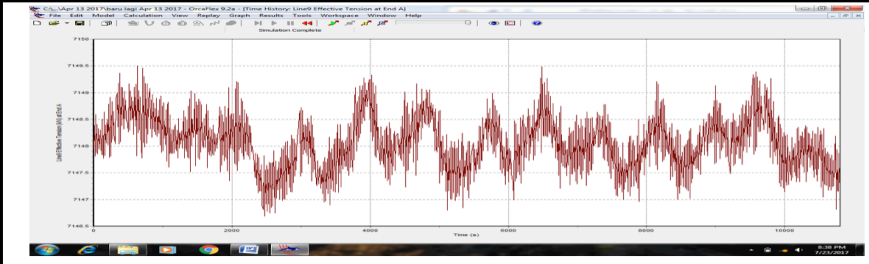
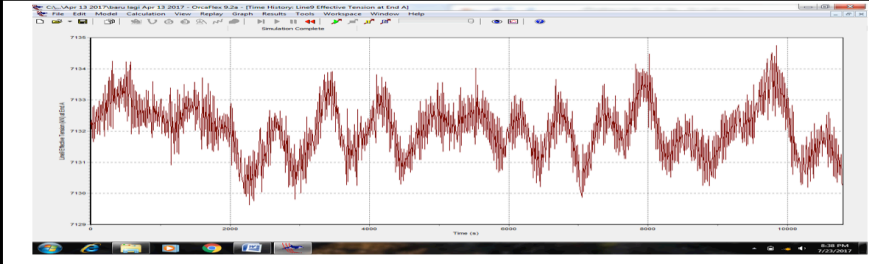
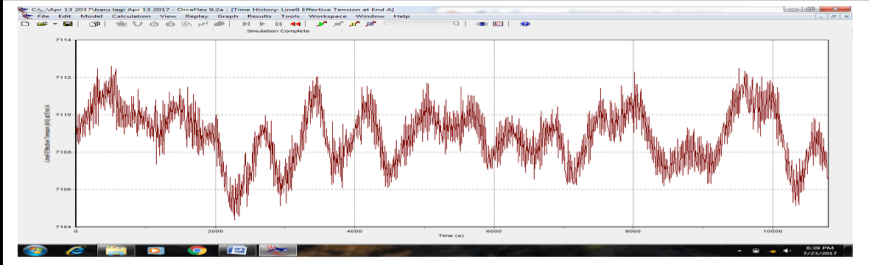
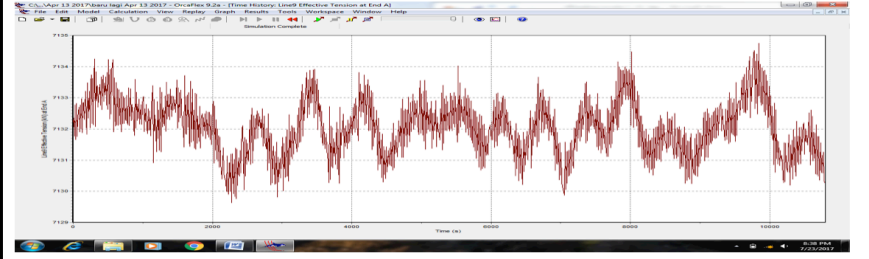
Grafik time history tension mooring line 9 pada skenario tandem offloading kondisi 5		
	Arah pembebanan	Grafik
Kondisi 5 - Hs 0.5 m	90°	
Kondisi 5 - Hs 1.5 m		
Kondisi 5 - Hs 2.5 m		
Kondisi 5 - Hs 3.5 m		
Kondisi 5 - Hs 4.5 m		

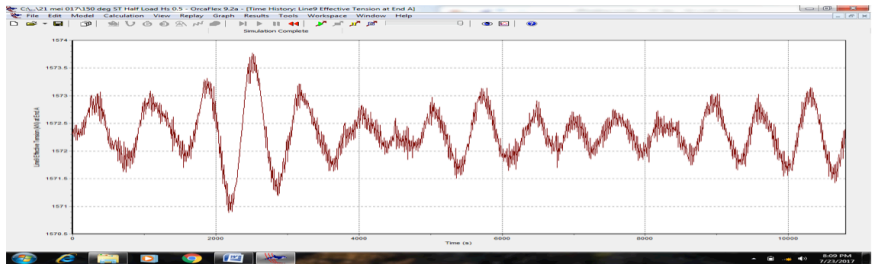
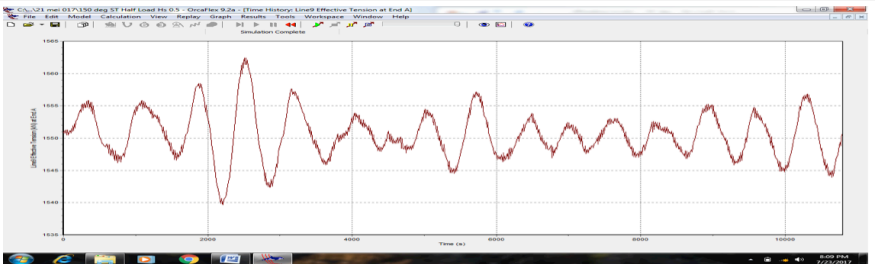
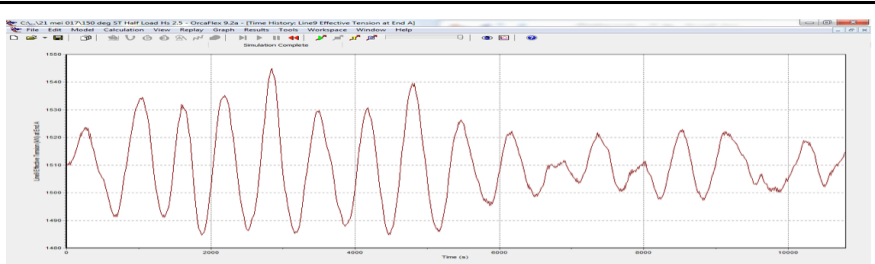
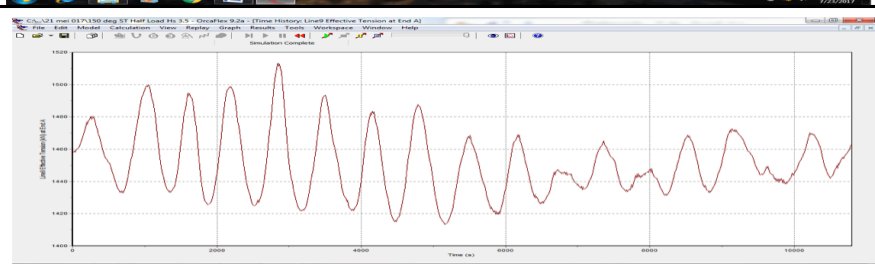
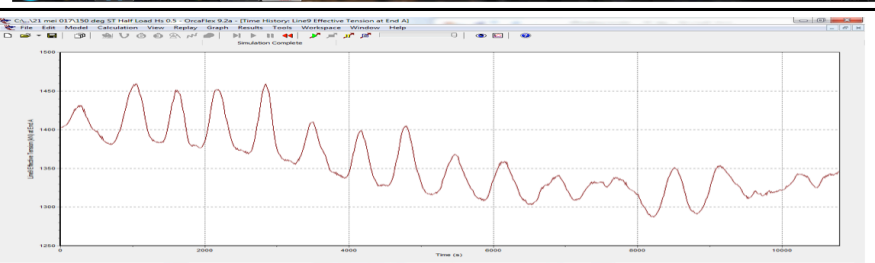
Kondisi 5 - Hs 0.5 m	210°	
Kondisi 5 - Hs 1.5 m		
Kondisi 5 - Hs 2.5 m		
Kondisi 5 - Hs 3.5 m		
Kondisi 5 - Hs 4.5 m		

Kondisi 5 - Hs 0.5 m	330°	
Kondisi 5 - Hs 1.5 m		
Kondisi 5 - Hs 2.5 m		
Kondisi 5 - Hs 3.5 m		
Kondisi 5 - Hs 4.5 m		

## LAMPIRAN F

	Arah pembebanan	Grafik
Kondisi 6 - Hs 0.5 m	90°	
Kondisi 6 - Hs 1.5 m		
Kondisi 6 - Hs 2.5 m		
Kondisi 6 - Hs 3.5 m		
Kondisi 6 - Hs 4.5 m		

Kondisi 6 - Hs 0.5 m	210°	
Kondisi 6 - Hs 1.5 m		
Kondisi 6 - Hs 2.5 m		
Kondisi 6 - Hs 3.5 m		
Kondisi 6 - Hs 4.5 m		

Kondisi 6 - Hs 0.5 m	330°	
Kondisi 6 - Hs 1.5 m		
Kondisi 6 - Hs 2.5 m		
Kondisi 6 - Hs 3.5 m		
Kondisi 6 - Hs 4.5 m		

## BIODATA PENULIS



**Jousie Rebecca** dilahirkan di Jakarta pada tanggal 26 juni 1995, merupakan anak ke empat dari lima bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal dimulai dengan menyelesaikan jenjang pendidikan formal dimulai dengan menyelesaikan jenjang Pendidikan Dasar di SD Strada Wiyatasana, Jakarta pada tahun 2000-2006, kemudian melanjutkan pendidikan sekolah di SMP Tarakanita 1 Jakarta pada tahun 2006-2009. Kemudian Penulis melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Stella Duce I pada tahun 2009 – 2010, dan di SMA Budi Mulia, Bogor pada tahun 2010 – 2011. Setelah lulus SMA Penulis diterima di Jurusan Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya melalui program mandiri dan terdaftar dengan NRP 4313100150. Selama menempuh masa perkuliahan, Penulis aktif mengikuti berbagai kegiatan seperti Himpunan Mahasiswa –Teknik Kelautan, OCEANO, MARTEC. Pada tahun 2016 penulis berkesempatan melaksanakan kerja praktek di perusahaan NOV PROFAB Indonesia selama dua bulan. Selama masa studi strata 1 yang ditempuh selama 4 tahun, Penulis awalnya tertarik dalam bidang hidrodinamika dan perancangan stuktur bangunan laut sehingga dalam tugas akhir ini mengambil topik analisis *mooring line*.

Kontak Penulis:

Email : [jousierebecca@gmail.com](mailto:jousierebecca@gmail.com)